UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

HIDROGERADORA VIRTUAL: UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL DESKTOP PARA O ESTUDO DE UMA UNIDADE HIDRELÉTRICA DE ENERGIA

ALCIDES RENATO DA SILVA PAMPLONA JUNIOR

UFPA/CT/PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM - PARÁ - BRASIL
DEZEMBRO DE 2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

HIDROGERADORA VIRTUAL: UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE REALIDADE VIRTUAL DESKTOP PARA O ESTUDO DE UMA UNIDADE HIDRELÉTRICA DE ENERGIA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO CENTRO TECNOLÓGICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

ALCIDES RENATO DA SILVA PAMPLONA JUNIOR

UFPA/CT/PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM - PARÁ - BRASIL
DEZEMBRO DE 2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

HIDROGERADORA VIRTUAL: UTILIZACAO DE TECNICAS DE REALIDADE VIRTUAL DESKTOP PARA O ESTUDO DE UMA UNIDADE HIDRELÉTRICA DE ENERGIA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO CENTRO TECNOLÓGICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM:

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Manoel Ribeiro Filho (PPGEE/UFPA)
Orientador

_____

Prof. Dr. Jorge Roberto Brito de Souza (PPGEE/UFPA)
Membro

_____

Prof. Dr. Marcus Vinicius Alves Nunes (PPGEE/UFPA)
Membro

_____

Prof. Dr. Bianchi Serique Meguins (PPGCC/UFPA)
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS pelo dom da vida, da saúde e da inteligência.

A instituição UFPa que me acolheu, como a muitos outros, desde a graduação, oferecendo um ensino público, gratuito e de qualidade.

Ao CORPO DOCENTE da instituição pelo empenho em dividir seus conhecimentos, muito além da matéria dada em sala de aula. Com isto formando mais do que profissionais, cidadãos.

A ELETRONORTE por acreditar e apoiar a realização deste trabalho.

A FUNPEA por intermediar o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais ALCIDES e MARGARIDA, *in memorian,* por incutir-me que o mérito de todas as vitórias é o trabalho para atingi-las.

A minha avó e segunda mãe JUSTINA pelo incansável apoio dado em todos os momentos da minha vida e mais ainda nesta empreitada.

Ao professor MANOEL RIBEIRO pelo aprendizado adquirido e pelas inúmeras e valiosas contribuições durante a realização deste trabalho.

Ao Grupo do LRV em especial ao MARCOS pelas noites de trabalho despendidas.

A minha esposa SOCORRO e ao meu filho ALBERTO pela imensa compreensão com que suportaram todos os meus momentos de ausência.

E a todos os demais, que deixo de citar aqui, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. O meu MUITO OBRIGADO.

RESUMO

Esta dissertação apresenta a concepção, projeto e implementação de um ambiente educacional que usa técnicas de Realidade Virtual Desktop para estudo de uma planta industrial. O aplicativo utiliza modelos CAD das peças constituintes da planta organizados hierarquicamente e tem como base de dados documentos no padrão XML. Apresenta também uma área textual por meio da qual o usuário recebe informações sobre o que está sendo exibido no mundo virtual. Para o estudo de caso é utilizada a planta de uma Unidade Hidrelétrica de Energia.

ABSTRACT

This dissertation presents the conception, project and implementation of an educational environment that uses Virtual Reality Desktop techniques for study of an industrial plant. The application uses CAD models of plants constituent parts, hierarchically organized having as database documents in XML format. It also presents a textual area through which trainee receives information on what is being shown in virtual world. For case study the plant of a Hydroelectric Generating Unity is used.

SUMÁRIO

RESUMO v

ABSTRACT vi

SUMÁRIO vii

LISTA DE FIGURAS x

LISTA DE TABELAS xiii

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1

1.1 MOTIVAÇÃO 1

1.2 OBJETIVOS 2

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 3

1.4 CONTRIBUIÇÕES 4

CAPÍTULO 2 – TRABALHOS CORRELATOS 5

2.1 – UTILIZAÇÃO DE MODELOS CAD EM EMBIENTES VIRTUAIS 5
2.2 – USO DA REALIDADE VIRTUAL EM UNIDADES HIDRELÉTRICAS 6
2.3 – APLICAÇÕES DA REALIDADE VIRTUAL NA INDÚSTRIA 7
2.3.1 – MODELOS PARA REPRESENTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS INDUSTRIAIS 7
2.3.2 – UTILIZAÇÃO DA RV PARA TREINAMENTO DOS PROCEDIMENTOS DE MONTAGEM 8
2.4 – APLICAÇÕES DE *E-LEARNING* USANDO RV BASEADAS NA APRENDIZAGEM PELA PRÁTICA 12
2.4.1 – VDT (*VIRTUAL DEVELOPMENT TRAINING PLATFORM*) 14
2.4.2 – *V-REALISM* 17
2.5 – ASSOCIAÇÃO DA RV A OUTROS TIPOS DE INFORMAÇÃO 19
2.6 – CONSIDERAÇÕES 19

CAPÍTULO 3 – UNIDADE HIDRELÉTRICA DE ENERGIA (UHE) 20

3.1 – TIPOS DE TURBINA E SEUS EMPREGOS 23
3.2 – TURBINAS FRANCIS 27
3.2.1 – HISTÓRICO 27
3.2.2 – ELEMENTOS 28
3.3 – USINA HIDRELÉTRICA DE TUCURUÍ 30
3.4 – CONSIDERAÇÕES 34

CAPÍTULO 4 – ARQUITETURA DO SISTEMA 35

4.1 – LINGUAGEM XML 35
4.2 – TAGS XML 37
4.3 – APLICAÇÃO DOS DOCUMENTOS XML À ARQUITETURA DO SISTEMA 37
4.3.1 – DOCUMENTO DE CONFIGURAÇÃO 38
4.3.2 – DOCUMENTO DE MONTAGEM 39
4.3.3 – DOCUMENTOS DE OBJETOS 39
4.4 – ARQUITETURA DO SISTEMA 40
4.5 – ENGENHARIA DE SOFTWARE 43
4.6 – CONSIDERAÇÕES 48

CAPÍTULO 5 – UNIDADE GERADORA VIRTUAL 49

5.1 – AMBIENTE DE IMPLEMENTAÇÃO 49
5.2 – MODELAGEM 3D 49
5.3 – INTERFACE 51
5.4 - MENU 53
5.4.1 – MÓDULOS 54
5.4.2 – VISÕES 58
5.4.3 – ÁRVORE DE PEÇAS 60
5.5 – BOTÕES DE AÇÃO 63
5.5.1 – GRUPO HIERARQUIA 63
5.5.2 – GRUPO ANIMAÇÃO 64
5.5.3 – GRUPO MANIPULAÇÃO 65
5.5.4 – GRUPO MOVIMENTAÇÃO 68
5.6 – CONSIDERAÇÕES 69

CAPÍTULO 6 – MELHORIAS E TRABALHOS FUTUROS 70

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS 71

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 73

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 – Plataforma de Petróleo modelada em CAD exibida em ambiente RV (CORSEUIL, 2003).....6
Figura 2.2 – Exemplo de uma Rede de Petri e sua mudança de estados (KASHIWA, 1995) 7
Figura 2.3 – Treinamento RV em modo guiado para execução de serviços (BLUEMEL, 2003) 8
Figura 2.4 – Montagem de peças de veículo (SÁ, 1999) 9
Figura 2.5 – Processo de carregamento do modelo CAD no ambiente virtual (SÁ, 1999).....10
Figura 2.6 – Informações exibidas da porta clicada (SÁ, 1999) 11
Figura 2.7 – Treinamento em manutenção usando RV imersiva (SCHENK, 2005).....15
Figura 2.8 – Treinamento de desmontagem de peças usando RV *Desktop* (SCHENK, 2005).....15
Figura 2.9 – Estrutura e componentes da plataforma VDT (SCHENK, 2005). 17
Figura 2.10 – Treinamento de manutenção de peças usando ambiente de V - Realism (LI, 2003).....18

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 – Unidade hidroelétrica de energia.....21
Figura 3.2 – Modelo esquemático da produção de eletricidade em uma UHE.....22
Figura 3.3 – Principais seções de uma UHE.....23
Figura 3.4 – Curvas de rendimento das diferentes turbinas. 26
Figura 3.5 – Diagrama de potência gerada por cada tipo de turbina em função da altura e da vazão.....27
Figura 3.6 – Rotor Francis.....28
Figura 3.7 – Movimento do fluxo líquido no interior da turbina.....29
Figura 3.8 – Turbina Francis de eixo vertical montada, destacando elementos da tubulação.....30
Figura 3.9 – Vertedouro da UHE Tucuruí.....31

Figura 3.10 – (a) Poço do estator do gerador, (b) Soldagem interna da caixa espiral, (c) Detalhe do tranqüilizador de óleo, (d) Parte inferior do rotor Francis. 32

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 – Exemplo de documento XML. 36
Figura 4.2 – Trecho contendo parte da descrição da UHE 37
Figura 4.3 - Relacionamento entre os documentos XML do sistema. 38
Figura 4.4 – Fragmento do documento de configuração.....39
Figura 4.5 – Documento de Objeto 39
Figura 4.6 – Arquitetura do sistema 41
Figura 4.7 – Diagrama de Caso de Uso de Alto Nível do Sistema 44
Figura 4.8 – Diagrama de Classes do sistema UGV 45
Figura 4.9 – Notação UML para os tipos de relacionamento 47
Figura 4.10 – Representação de um classe em UML 47

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 – Árvore de peças da UHE.....50
Figura 5.2 – Interface inicial do sistema, enumerando suas principais características 52
Figura 5.3 – Barra de menus da aplicação.....53
Figura 5.4 – Menu Módulos.....54
Figura 5.5 – UGV com a construção civil 54
Figura 5.6 – UGV com a construção civil tornada transparente 55
Figura 5.7 – Visão inicial do módulo educativo 56
Figura 5.8 – Após a seleção da turbina todas as demais pecas desaparecem.....57
Figura 5.9 – Sistema Distribuidor selecionado a partir da turbina 58
Figura 5.10 – Menu visões. 59
Figura 5.11 – (a) Entrada do cone local onde se pode visualizar o funcionamento interno da máquina (b) Entrada do tubo de onde se tem a altura da UGV e se vê a tomada de água (c) Porta eclusa da caixa espiral, passagem por onde se entra para realizar diversas manutenções (d) Interior da caixa espiral de onde se tem uma visão do funcionamento do rotor e do sistema distribuidor.....59

Figura 5.12 – (a) Visão superior enquanto a animação da montagem ocorre (b) Visão lateral do final do processo de montagem 60
Figura 5.13 – Janela da Árvore de Peças mostrando agrupamentos e peças 61
Figura 5.14 – Selecionando o Cone na janela a peça fica marcada no mundo virtual, seu nome aparece no canto superior esquerdo da janela e na área textual é mostrada sua descrição 62
Figura 5.15 – Com o *checkbox* marcado é selecionada a Caixa Espiral na janela, no mundo virtual todas as demais peças desaparecem, o nome da peça selecionada aparece no canto superior esquerdo e sua descrição na área textual. 63
Figura 5.16 – Grupo Hierarquia 64
Figura 5.17 - (a) A partir do Sistema Distribuidor o usuário seleciona o Sistema de Regulação (em dourado) (b) Desce um nível na hierarquia e visualiza o Sistema de Regulação. Para retornar ao nível anterior o usuário seleciona o botão subir um nível (c) Retornando novamente ao nível em que estava. Pode selecionar novamente o botão para subir para o nível da turbina e assim sucessivamente 64
Figura 5.18 – Botões de Animação 65
Figura 5.19 – Visão Entrada do Cone com a máquina em funcionamento 65
Figura 5.20 – Botões de Manipulação 66
Figura 5.21 – Desmontagem do gerador utilizando o botão mover 66
Figura 5.22 – Rotação do rotor da turbina para visualizar sua parte inferior 67
Figura 5.23 – Aplicação de transparência sobre a caixa espiral 67
Figura 5.24 – Botões de Movimentação 68
Figura 5.25 – Rotação do sistema distribuidor e todos os seus componentes 68

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 – Classificação das quedas por altura 24
Tabela 3.2 – Quadro comparativo entre os tipos de turbinas usadas no Brasil 25
Tabela 3.3 – Características técnicas da UHE de Tucuruí 33

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Um dos principais objetivos dos departamentos de engenharia em grandes indústrias, como automobilística, aeroespacial, hidroelétrica e petrolífera, é a construção de sistemas de informação para controle de seus projetos. A grande busca é por um sistema que, além de acessar bases de dados com informações sobre o projeto ofereça recursos para visualização tridimensional de seus modelos com realismo suficiente para ser usado na revisão do projeto, mudança nos sistemas de gerenciamento, e treinamento, além de outras atividades (CORSEUIL, 2004).

Equipes de engenharia necessitam do conhecimento de cada componente da planta para preverem locais passíveis de problemas ou cujo funcionamento pode ser otimizado. Equipes de manutenção precisam conhecer onde e de que modo devem ser realizados os procedimentos de manutenção. Equipes de segurança devem conhecer os setores que apresentam maior risco, buscando torná-los mais seguros e em caso de acidente, quais os acessos em cada setor da planta e sua localização para que, possam auxiliar na retirada de emergência por um caminho que não ofereça risco. Independente do tipo de planta em questão, o conhecimento tridimensional de seu funcionamento e de seu interior, permite aperfeiçoar as atividades das equipes especializadas.

Os treinamentos convencionais, baseados em documentos impressos ou apresentações em tela, não são suficientes para cobrir toda a complexidade do funcionamento de plantas industriais e suas máquinas. Estes métodos tradicionais deixam uma lacuna cognitiva na passagem entre o que foi apresentado e a sua aplicação na prática que é dependente da capacidade de cada participante, exigindo, normalmente, um longo período para assimilação (BLUEMEL, 2003).

Por outro lado, é cada vez maior o interesse de indústrias em sistemas de treinamento usando Realidade Virtual (RV). A Realidade Virtual (RV) pode

ser definida como um ambiente tridimensional gerado por computador, atualizado em tempo real, que permite a interação humana através de vários dispositivos de entrada e saída. Como permite uma variedade de representações, 2D ou 3D, desktop ou imersiva, a RV oferece aos usuários a oportunidade de explorar objetos virtuais no nível de detalhe necessário a cada atividade (BURDEA, 2003).

Em seu trabalho Kashiwa (1995) define as condições para a construção de um ambiente virtual para manutenção de máquinas. Entre as vantagens do uso de RV sobre o treinamento tradicional o autor relaciona:

- Permitir que se possa construir virtualmente qualquer máquina que componha a planta em questão, não importando seu tamanho, peso e demais características.
- O treinando obtém conhecimento de forma muito mais eficiente e por tempo mais duradouro do que no treinamento convencional.
- A RV oferece ao treinando oportunidade de receber treinamento em vários tipos de atividade relacionados às suas funções na planta industrial.

Assim, a RV disponibiliza com o uso do computador um novo paradigma de interface com o usuário. Neste paradigma, o usuário não está mais em frente ao monitor, mas sim, tem a sensação de estar “dentro da aplicação”, ou seja, dentro do ambiente onde se está desenvolvendo esta aplicação. A RV pode então ser vista como um salto qualitativo em relação às interfaces gráficas tradicionais. Por seu uso o usuário percebe a aplicação como um ambiente virtual tridimensional. A interface dentro deste ambiente virtual procura reproduzir a realidade de um determinado contexto, buscando produzir a sensação de presença neste ambiente, através da criação dos mundos virtuais gerados por computador.

1.2 Objetivos

Esta dissertação propõe e utiliza uma arquitetura apoiada em documentos XML (W3C, 1998) com modelos CAD (CORSEUIL, 2004), para a construção de um ambiente virtual de treinamento industrial utilizando técnicas

de RV Desktop. Para demonstrar a aplicabilidade da arquitetura proposta é feito um estudo de caso de uso do sistema na indústria de geração de energia, especificamente, em uma Unidade Hidrelétrica de Energia.

Como objetivos específicos propõem-se:

- Desenvolvimento de técnicas de modelagem e construção de sistemas de virtuais para estudo e análise de máquinas;
- Desenvolvimento de armazenamento baseado em XML dos dados do sistema de modo a torná-lo mais simples e flexível;
- Desenvolvimento de uma interface auto-ajustável para o estudo de plantas industriais.

1.3 Estrutura da Dissertação

Além deste capítulo introdutório, a presente dissertação consiste de mais cinco capítulos:

O Capítulo 2 apresenta alguns dos trabalhos publicados nesta mesma linha de pesquisa, objetivando demonstrar a direção e a profundidade em que caminham as pesquisas nesta área. Conclui com uma referência dos elementos que foram aproveitados dos trabalhos correlatos na elaboração desta dissertação.

O Capítulo 3 apresenta as características de uma unidade hidrelétrica de energia. Descreve suas partes fundamentais, os critérios utilizados na escolha do tipo de turbina a ser empregada, enfatizando a turbina que será utilizada no estudo de caso desta dissertação e finalizando com uma visão geral da Usina Hidrelétrica de Tucuruí que é o objeto do estudo de caso.

O Capítulo 4 descreve a arquitetura do sistema. Apresenta seus diagramas e modelos, a utilização de documentos XML e o processo de modelagem 3D utilizando modelos CAD para geração do mundo virtual.

O Capítulo 5 enfoca a operação do sistema. Demonstra as características da interface e explana as funcionalidades do sistema.

O Capítulo 6 apresenta os futuros trabalhos que podem ser implementados visando melhorar as características desenvolvidas no trabalho até o momento.

O Capítulo 7 cita as conclusões obtidas com os resultados do trabalho.

1.4 Contribuições

Uma das contribuições deste trabalho é apresentar uma aplicação, utilizando técnicas de realidade virtual desktop de baixo custo, baseada e computador pessoal, que permita ao usuário conhecer os elementos básicos de uma UHE em termos de aparência, comportamento, funcionalidades e operação.

Também tem como objetivo, contribuir no uso de modelagem orientada a objetos para o desenvolvimento dos modelos industriais que possam ser utilizados para animação e interação.

Outra contribuição ainda é a modernização dos métodos educativos relacionados a plantas industriais com o uso da realidade virtual. O sistema, objeto desta dissertação, permite ainda seu emprego em outras plantas além do estudo de caso, alterando-se os documentos XML que servem de repositório de dados e serão descritos no decorrer desta. Deseja-se com esta iniciativa contribuir à pesquisa de soluções para treinamento industrial usando RV.

CAPÍTULO 2 - TRABALHOS CORRELATOS

Nos últimos anos, as indústrias petrolíferas, aeroespacial, mineradoras, e outras envolvidas em grandes projetos de engenharia, têm investido cada vez mais em pesquisas voltadas ao desenvolvimento de sistemas computacionais que permitem a visualização tridimensional de modelos CAD complexos, oferecendo suficiente realismo para serem utilizados nas atividades de revisão de projeto, manutenção de equipamentos e treinamento de pessoal (CORSEUIL, 2003).

A realidade virtual pode auxiliar nesse processo. A eficiência deste tipo de sistema está diretamente associada à capacidade de imersão e interatividade, as quais requerem uma resposta em tempo real às solicitações demandadas pelos usuários (CORSEUIL, 2004).

Por esses motivos, diversos pesquisadores se dedicam a estudar o problema e propor soluções, algumas das quais são explanadas a seguir.

2.1 Utilização de modelos CAD em ambientes virtuais

Os problemas encontrados neste processo de visualização de grandes modelos CAD consistem em que o modelo de engenharia não é construído com a preocupação de ser utilizado para visualização em tempo real. Em alguns casos os modelos são representações visualmente simplificadas, servindo apenas como representação esquemática das características analisadas. Por outro lado, há outros casos em que os modelos são muito grandes e complexos para a visualização em tempo real (CORSEUIL, 2004).

As evoluções e mudanças nos frameworks gráficos (BASTOS, 2004), (BIERBAUM, 2000) voltados para RV estão permitindo a visualização e manipulação em ambientes virtuais de modelos CAD complexos acompanhados de grande volume de dados, em tempo real. O resultado desses esforços é que o investimento em pesquisas nessa área é cada vez maior e o resultado pode ser visto, por exemplo, na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Plataforma de Petróleo modelada em CAD, exibida em ambiente RV (CORSEUIL, 2003).

A RV permite um ganho nos processos de análise quando é conjugada com processos de simulação. A visualização em tempo real dos efeitos de uma mudança no modelo representado facilita a compreensão do processo (CORSEUIL, 2003).

2.2 Uso da Realidade Virtual em Unidades Hidrelétricas

Diversos autores estudaram o potencial de uso da RV sobre o processo de geração de energia hidrelétrica. Em seu trabalho Guo (2002), analisa a utilização de um sistema de RV casado com os sistemas próprios de uma unidade geradora e conclui que seu uso permite a troca de uma manutenção baseada em tempo (TBM) por uma manutenção baseada em condições (CBM), que reduz o tempo de manutenção além de ser mais econômica, isso pela possibilidade de analisar e diagnosticar o comportamento do sistema visualmente e pelo conhecimento do funcionamento interno adquirido. Em (GUO, 2003) o mesmo autor destaca as vantagens obtidas na visualização de uma usina hidrelétrica através de um sistema RV. O autor cita, além das vantagens descritas anteriormente, que um sistema RV permite acompanhar as interações internas entre as máquinas sob várias condições diferentes e ainda mais, permite a observação de condições cuja visualização seria impossível no mundo real ampliando assim as condições de aprendizado.

2.3 Aplicações da Realidade Virtual na Indústria

2.3.1 Modelos para representação dos procedimentos industriais

Um dos trabalhos precursores nessa linha de pesquisa é (KASHIWA, 1995), onde o autor descreve as bases para o desenvolvimento de um sistema de treinamento utilizando RV para manutenção de máquinas. Em sua abordagem conclui que a melhor representação para os procedimentos de manutenção e treinamento é uma *Rede de Petri* (Figura 2.2) que representa os estados que o usuário deve executar para que o procedimento seja considerado executado com sucesso.

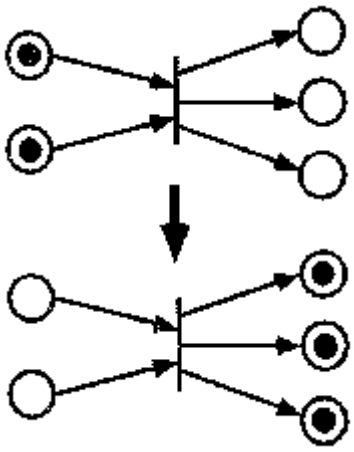

Figura 2.2 – Exemplo de uma Rede de Petri e sua mudança de estados (KASHIWA, 1995)

O trabalho de Lin (2002) também utiliza Redes de Petri para guardar os objetivos de cada treinamento. O autor acrescenta ainda que um sistema com as características pretendidas deve possuir módulos que permitam a definição do objetivo do treinamento, a realização do treinamento e sua posterior avaliação.

Outro trabalho de destaque na mesma área é o de Bluemel (2003) que estabelece alguns fundamentos para o desenvolvimento de sistemas RV aplicados a treinamentos de serviços (procedimentos). Neste trabalho é abordado um método de treinamento em que gradativamente a interação entre o aprendiz e o sistema vai aumentando. Na primeira vez o sistema executa a ação e o aprendiz apenas observa. Gradativamente os papeis se invertem até que na última execução o aprendiz realiza toda a operação sem nenhuma interferência do sistema, como mostra a Figura 2.3. Este tipo de aprendizagem

é chamado de: *learning by doing*. Ao final é apresentada uma avaliação do desempenho do aprendiz.

Figura 2.3 – Treinamento RV em modo guiado para execução de serviços (Bluemel, 2003)

2.3.2 Utilização da RV para treinamento de procedimentos de montagem

O planejamento de montagem determina a seqüência e os detalhes do processo de operação que coloca partes individuais dentro de uma montagem. Um plano de montagem tem um grande impacto na eficiência e no custo da produção.

Em um ambiente de engenharia de montagem tradicional, o desenho de montagem e o planejamento de montagem são realizados separadamente por pessoas de diferentes departamentos. E após a realização dos desenhos, gera-se a seqüência de montagem. A compreensão da montagem e a geração das seqüências de montagem são realizadas de forma cognitiva. E por essa razão, o planejamento da montagem é suscetível a erros de interpretação.

Para realizar uma melhor verificação da montagem é necessária a utilização de protótipos físicos de partes reais e execução de processos de produção real para tentar localizar possíveis erros. A utilização de protótipos reais e execução de processos de produção elevam os custos de produção, e prolongam o tempo de planejamento de montagem.

Entre as atividades para realização de uma seqüência de montagem eficiente, com segurança do produto e segurança do técnico responsável pela

operação de montagem está a de examinar o desenho geométrico de uma montagem para certificar uma seqüência praticável de montagem que não induza colisões de partes e retenção de outras, além de verificar outros fatores, como reorientações, direcionalidade, estabilidade, manipulação, e paralelismo das operações de montagem, bem como a complexidade das ferramentas e peças de fixação.

O aumento da complexidade das montagens de componentes e peças nos parques industriais tem tornado o planejamento de montagem um verdadeiro desafio para os engenheiros.

Existem diversos trabalhos publicados sobre a utilização de RV nas tarefas de planejamento de montagem de peças e equipamentos, com objetivo de automatizar a produção dos planos de montagem e a geração automática de seqüências de montagem. Alguns desses trabalhos são: (Sá, 1999), (Ye, 1999) e (Jayaram, 1999).

O artigo de Sá (1999) apresenta pesquisas a respeito da utilização da Realidade Virtual como ferramenta de Prototipagem Virtual (PV) com o objetivo de verificar os processos de manutenção e montagem. A PV utiliza recursos da Realidade Virtual para realizar prototipagem de maquetes físicas. Esta prototipagem utiliza tanto dados de processo como do produto, simula e recria todas as características relevantes ao contexto particular da forma mais realística e precisa possível, limitada apenas às condições onde a reprodução está se processando. A Figura 2.4 mostra um exemplo prático da aplicação da PV na indústria automobilística.

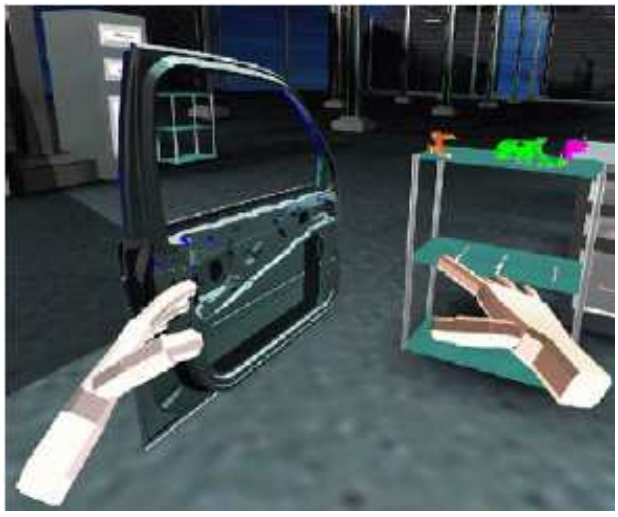

Figura 2.4 – Montagem de peças de veículo (SÁ, 1999).

Seu trabalho mostra também as etapas necessárias para prototipagem virtual de maquetes físicas, que tem início na construção de modelos CAD, que são criados a partir de dados armazenados em sistemas de administração dos dados do produto, também chamados de PDM (Product Data Management). Antes de disponibilizar o modelo CAD no ambiente virtual, é utilizada uma ferramenta de preparação, para que os dados em CAD sejam convertidos, reduzidos e preparados para uso em um sistema de RV, como mostra a Figura 2.5.

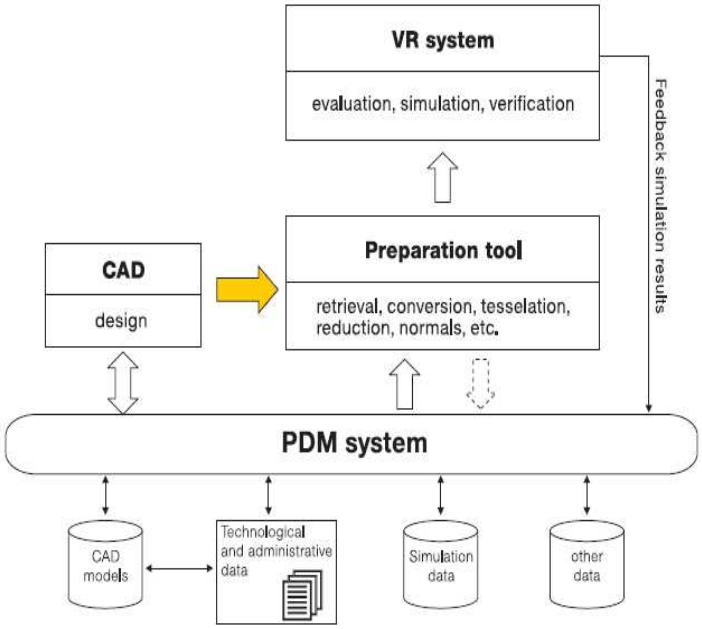

Figura 2.5 – Processo de carregamento do modelo CAD no ambiente virtual (SÁ, 1999).

No Capítulo 5 na seção de modelagem, será analisada a redução manual que foi realizada nos modelos CAD desta dissertação durante o processo de modelagem das peças.

Ainda segundo Sá, existem algumas técnicas que são úteis nos sistemas de RV para realizar a verificação de simulações de montagens:

- **Interação Multi-Modal**: É importante criar uma interface homem-computador eficiente, pois muitas das tarefas complexas realizadas na prototipagem virtual podem ser amenizadas com a utilização de técnicas de RV, tais como, reconhecimento de gestos, ou voz, menus 3D, seleção através de espalhamento de raio de luz, etc.

- **Manual de serviço on-line:** Os manuais de instruções interativos podem ser implementados durante um treinamento da seguinte maneira: o usuário aprende o manual de serviço através da observação de uma animação do processo de montagem. Após a animação, o usuário irá aprender através da prática, executando uma tarefa passo-a-passo. Depois que cada etapa foi finalizada, o sistema o direcionará à ferramenta ou à algo que o usuário precisará para a próxima etapa, e informará ao usuários as próximas tarefas.

- **Meios de investigação:** Para auxiliar as tomada de decisão, é importante oferecer recursos de investigação de peças ou partes envolvidas durante o processo de prototipagem virtual, por exemplo, no momento que usuário clicar em uma peça, informações inerentes à peça deveram ser exibidas, conforme mostra a Figura 2.6.

Figura 2.6 – Informações exibidas da porta clicada (SÁ, 1999).

- **Simulação baseada em Física:** comportamentos físicos reais devem ser replicados às peças virtuais, como por exemplo, uma tampa com articulações permanentes com um grau de liberdade rotacional.

- **Verificação sem retro alimentação de força**: O processo de montagem torna-se mais difícil no ambiente virtual em comparação ao mundo real, quando há ausência de força e retro alimentação referente ao tato. E para contornar essa limitação, é necessário

implementar técnicas interativas que compensem a retro alimentação de força ausente. E uma das principais técnicas é a ativação de colisão em componentes, evitando que duas peças possam se sobrepor indevidamente ou se atravessem sem respeitar os princípios físicos.

- **Documentação**: Durante a montagem/desmontagem, o caminho de qualquer parte do processo pode ser gravado e editado em RV. Anotações textuais ou verbais do usuário podem ser referenciadas por meio de marcadores 3D nas peças virtuais, podendo ser salvas e carregadas a qualquer momento.

- **Retro alimentação ao usuário:** Os sistemas de RV deverão responder da melhor maneira possível a qualquer interação do usuário. Nos ambientes imersivos, a retro alimentação multisensorial é importante para dar ao usuário sensação de conforto e controle. Durante a simulação da montagem, uma variedade de retro alimentação pode ser combinada, o que mostrará se o usuário tentou mover um objeto em uma posição inválida: retro alimentação acústica, retro alimentação palpável através de uma luva com sensor e retro alimentação visual.

E como conclusão do trabalho, Sá realiza uma pesquisa de satisfação na utilização de técnicas de RV durante o processo de montagem de carros da fábrica BMW. Apesar de terem sido detectados problemas de ergonomia nos dispositivos imersivos entre os avaliados, a RV foi considerada como uma ferramenta com grande potencialidade da prototipagem virtual nas fábricas automotivas, podendo reduzir o número de maquetes físicas e melhorar a qualidade final do produto.

2.4 Aplicações de e-learning usando RV baseadas na aprendizagem pela prática

Desde a década de 40, empresas e indústrias vêm buscando meios de aprendizagem para os empregados para que possam melhorar produtividade e

refletir na qualidade dos produtos. Foi a partir da década de 60 que o assunto começou apresentar importância no meio acadêmico.

Uma das primeiras e mais difundida teorias de aprendizagem organizacional no mundo é a aprendizagem baseada na prática (learning by doing) (VIDEIRA, 2001), ensina que a produtividade de uma empresa aumenta quando os empregados dominam com perfeição os procedimentos repetitivos executados em seus processos e atividades diárias.

Como se utiliza imersão e interação através da RV são vários os trabalhos que exploram o *e-learning* (aprendizado eletrônico) usando RV através da abordagem de aprendizagem pela prática com fins educativos.

Segundo Tam (1999), esta abordagem engloba dois elementos chaves:

- A experiência própria possibilitada pela simulação do ambiente de mundo real (usando-se uma interface gráfica de usuário ou realidade virtual ou ambas).
- O guia de treinamento proporcionado pelo ato de “seguir os passos” do instrutor.

O sistema de RV eleva a eficiência e capacidade de executar tarefas de manutenção, operação e serviço no domínio técnico através da introdução dos seguintes aprimoramentos no treinamento:

- Melhoramento do mecanismo de treinamento para a manutenção e produção do corpo de funcionários através da introdução de um treinamento interativo 3D.
- Elevação do desempenho dos técnicos através do fornecimento de uma ferramenta de acordo com a demanda, como uma referência visual interativa para tarefas de manutenção ou operação.
- Economia de custos e esforços desnecessários através da condução de um treinamento independente de hora e local em uma máquina virtual ao invés de uma máquina real.
- Diminuição dos riscos de execução de ações de manutenção e operações defeituosas através do fornecimento de uma versão visual interativa 3D da tarefa.

- Aumento da transferência de conhecimento dentro da empresa através da implementação de um conceito de auto-aprendizado.
- Aumento da segurança do operador, principalmente na fase inicial de treinamento, que pode ser realizado sobre uma máquina virtual antes do uso da máquina real.

Através do treinamento utilizando RV, os técnicos conseguem alcançar um nível de conhecimento necessário para realização de suas atividades, tais como: entendimento da construção e função de peças especificas de um equipamento, compreensão de procedimentos para inicialização e conclusão de certa atividade, aprendizado de técnicas para detectar, diagnosticar e remover erros.

Segundo Schenk (2005), no uso da RV, o ambiente virtual produzido pode ser criado de forma que o usuário pense que é real. Procedimentos de manufatura com alto grau de complexidade podem ser exemplificados visualmente e o interior de máquinas e equipamentos complexos pode ser visualizado de modo a permitir o conhecimento de sue funcionamento interno.

Nos próximos tópicos serão descritos alguns exemplos de sistemas de treinamento industrial que utiliza técnicas de RV no processo de aprendizagem dos usuários.

2.4.1 VDT (Virtual Development and Training Platform)

No trabalho de Schenk (2005), é apresentada uma ferramenta para o auxílio no aprendizado e treinamento através de RV, chamado VDT, que fornece cenários visuais e interativos para a qualificação de operadores de máquinas e técnicos de serviço e manutenção.

O VDT oferece recursos para o desenvolvimento e gerenciamento do conteúdo, além de ferramentas para avaliação e determinação das exigências de qualificação dos treinandos, tornando possível a adaptação e realização específica do cliente do material de treinamento. Por meio do VDT, as seguintes habilidades poderão ser alcançadas durante o treinamento:

- Entendimento da construção e função de componentes especificados ou elementos da máquina e equipamento.

- Fornecimento de procedimentos para inicialização/fechamento e atividades de manutenção.
- Métodos para detectar, diagnosticar e remover erros.
- Treinamento de situações excepcionais que às vezes ocorrem durante execuções normais de produção.

Utilizando os conceitos da RV imersiva, o VDT oferece recursos para um treinamento mais interativo e com maior grau de imersão, desde que estejam disponíveis periféricos como luvas de dados e óculos estereoscópicos, como mostra a Figura 2.7. Para indústrias que desejam trabalhar com recursos computacionais mais simples, como monitores e teclados, o VDT também oferece um treinamento baseado na RV *Desktop*, como mostra a Figura 2.8.

Figura 2.7 - Treinamento em manutenção usando RV Imersiva (SCHENK, 2005).

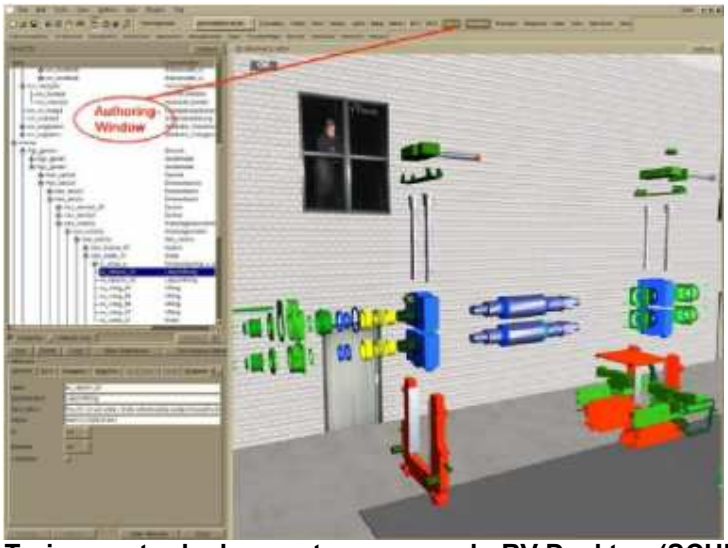

Figura 2.8 - Treinamento de desmontagem usando RV Desktop (SCHENK, 2005).

O ambiente de treinamento do VDT é projetado para considerar as necessidades de diferentes níveis de treinandos: iniciantes, intermediários e experientes. São realizados quatro tipos diferentes de treinamento de acordo com nível de habilidade e conhecimento: Treinamento-Descoberta, Treinamento-Apresentação, Treinamento-Guiado e Treinamento-Livre.

O modo Treinamento-Descoberta permite que cada treinando se familiarize com os fundamentos das tarefas a serem treinadas, usado apenas para que os usuários possam explorar o ambiente sem compromisso com realização de tarefas.

O modo Treinamento-Apresentação é voltado ao entendimento dos detalhes das tarefas a serem treinadas numa forma de procedimento passo a passo com a possibilidade de assimilar informações sobre as partes, componentes e ferramentas envolvidas. Neste modo, são realizadas animações que simulam processos de montagem e desmontagem de peças.

No modo Treinamento-Guiado os usuários já estão familiarizados com as tarefas, e a partir disso, o sistema transmite instruções de manutenção que deverão ser obedecidas pelo usuário de forma similar às montagens automáticas realizadas no modo de Treinamento-Apresentação. A cada erro da execução do usuário, o sistema responde com alertas, e também informa ao usuário a respeito da conclusão ou não de uma tarefa.

O modo Treinamento Livre é projetado para usuários avançados. Neste modo de treinamento, o treinando executa todas as instruções de manutenção, sem receber nenhuma orientação do sistema. Após o término do treinamento, o treinando recebe um relatório de avaliação contendo o seu progresso no aprendizado, o número de erros, período de treinamento, etc.

Além dos modos de treinamento, o sistema oferece recursos de autoria, permitindo que treinadores, desenvolvedores de conteúdo e técnicos experientes possam criar novos conteúdos de treinamento, adaptar e atualizar os já existentes e gerenciar as sessões de treinamento. O ambiente de autoria é equipado com ferramentas interativas para criação de conteúdos, o que

facilita a implementação e adaptação de diferentes tipos de sistemas de produção ou máquinas no ambiente de treinamento.

A Figura 2.9 ilustra a estrutura e os componentes da Plataforma VDT.

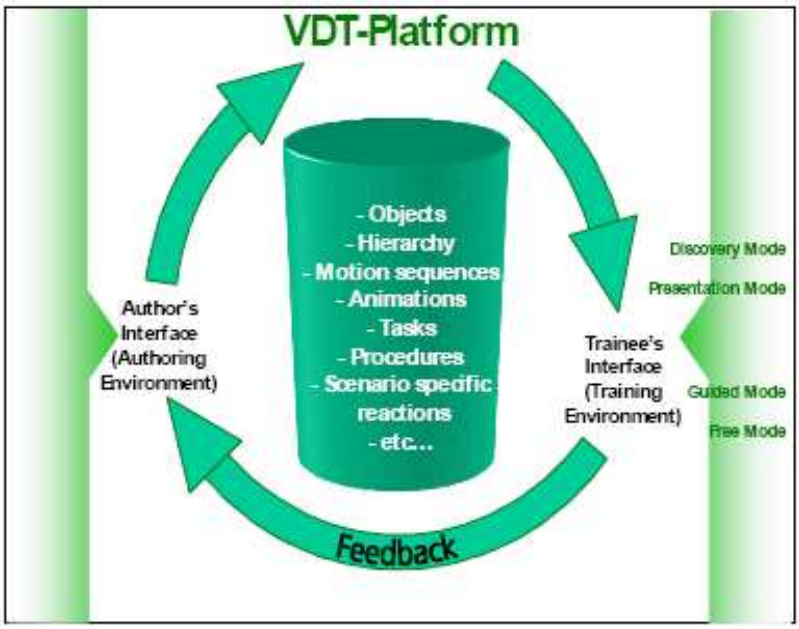

Figura 2.9 - Estrutura e componentes da Plataforma VDT (SCHENK, 2005).

2.4.2 V-REALISM

O V-Realism (LI, 2003), é um protótipo de sistema orientado a objetos baseado na tecnologia RV Desktop, mostrado na Figura 2.10, que fornece treinamento de montagem a equipes especializadas. Entre as habilidades que o sistema desenvolve, estão:

- Fornecer aos engenheiros de manutenção seqüências de desmontagem eficazes em equipamentos e peças da manutenção.
- Fornecer aos engenheiros de manutenção uma visualização tridimensional com navegação e manipulação dos dados do ambiente virtual de manutenção.
- Integrar as funções de planejamento de seqüência de desmontagem no ambiente virtual utilizando interface homem-máquina amigável.

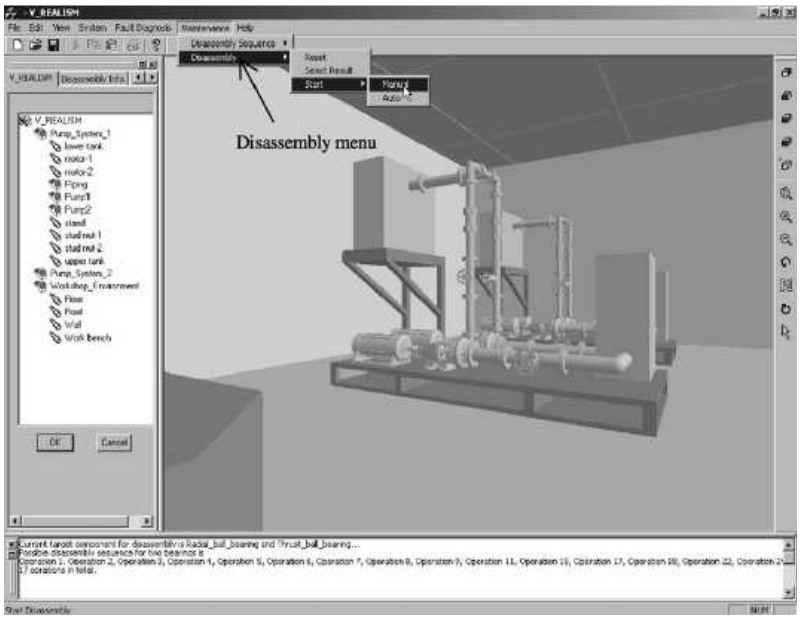

Figura 2.10 - Treinamento de manutenção de peças usando ambiente de V-Realism (Li 2003)

No nível de arquitetura de sistema, o V-Realism possui três módulos que são o módulo de planejamento da seqüência da desmontagem, módulo de ambiente virtual e módulo de interface gráfica do usuário.

O módulo de planejamento de seqüência de desmontagem reúne o esquema de representação gráfica dos objetos virtuais de manutenção e técnicas de otimização da seqüência de montagem baseada em algoritmos genéticos.

O módulo de ambiente virtual possui dois sub-módulos. O primeiro, envolve modelagem geométrica, que lida com a representação de modelos geométricos e o gerenciamento de sua exposição 3D. O segundo submódulo envolve o display de RV, que é desenvolvido para ajuste de parâmetros exibição do ambiente virtual, os quais incluem a câmera, iluminação e ajustes de renderização.

O último módulo, de interface gráfica do usuário, é basicamente uma interface amigável que é usada para integrar os módulos anteriormente mencionados.

2.5 Associação da RV a outros tipos de informação

A realidade virtual lida com muito mais informações além dos modelos tridimensionais e, para apoiar essas outras características, alguns autores pesquisaram as interações entre esses elementos e a RV.

No trabalho de Suzuki (2006) é feita uma avaliação da inserção de textos dentro do ambiente virtual. Neste trabalho são usadas diversas formas de apresentação textual e seus resultados avaliados, concluindo que a melhor forma de expô-los é através de uma janela no topo ou inferior da tela com o conteúdo que se deseja apresentar.

No trabalho de van Leewen (2001) é apresentado um esboço do uso de documentos XML no armazenamento de informações sobre os modelos geométricos. O autor explora a característica da linguagem XML em compactar muita informação de maneira organizada para ampliar a gama de dados que podem ser associados aos modelos tridimensionais.

2.6 Considerações

Este capítulo mostrou o estado atual das pesquisas na àrea de realidade virtual envolvendo conceitos e características relevantes para o estudo de plantas industriais. Com isso pretendeu-se contextualizar o avanço nesta àrea. As melhores práticas apreendidas nos trabalhos relacionados são utilizadas no sistema objeto desta dissertação, como a técnica de *learning by doing*, documentos XML como repositórios de dados, modelos CAD para a construção do ambiente vitual, textos ligados à ação ocorrendo no ambiente virtual, dentre outros.

CAPÍTULO 3 - UNIDADE HIDRELÉTRICA DE ENERGIA (UHE)

Todo corpo que possui massa, ao cair, ganha velocidade à medida que o tempo passa. O aumento da velocidade implica no aumento da energia associada ao corpo. Não é preciso que esta queda seja vertical para que o fenômeno ocorra. Em um plano inclinado também há aumento progressivo de energia. Com base neste último princípio, o homem construiu as grandes usinas hidrelétricas, que constituem a utilização da energia dos planos inclinados dos rios na geração da eletricidade. Antes desse uso moderno, e baseado no mesmo processo, os povos antigos construíram as rodas de água para moinhos (SCHREIBER, 1977).

O fluxo das águas de um rio não se apresenta o mesmo durante o ano inteiro, sendo influenciado pelas chuvas: aumenta o volume na estação das águas e dá-se o inverso na estação das secas. Assim, a vazão dos rios se modifica de acordo com a estação do ano. Deste modo, é necessário estudar muito bem o regime do rio onde se pretende edificar uma usina antes de iniciá-la.

Se uma usina hidrelétrica for projetada para trabalhar com a vazão mínima, nas cheias ela se inundará e desperdiçará água. Se for projetada para aproveitar as cheias, suas turbinas ficarão praticamente paralisadas no período das secas onde não haverá volume hídrico suficiente para movê-las.

Os rios mais adequados para a construção de hidrelétricas são os dotados de maiores desníveis, mas são justamente estes os mais sujeitos a grandes variações da vazão. Então, para o aproveitamento de rios desse tipo, é necessário regularizar a vazão, a fim de que a usina possa funcionar o ano inteiro, com toda a potência máxima instalada.

A regularização do regime de um rio só é possível com a construção de barragens sólidas, de modo a fechar o leito do rio. Nesse paredão as águas se acumulam e, quando o rio está muito cheio, são abertas as comportas conforme a necessidade, obtendo-se dessa forma uma vazão média constante todo o ano independente do regime do rio.

Como não são iguais as condições do regime do rio a ser contido, não há duas represas iguais, constituindo cada uma, um projeto diferente e independente;

A montagem e a utilização das barragens devem atender a cálculos e precauções excepcionais. Um dos cuidados requeridos diz respeito à preparação dos apoios da represa. Estes apoios (chamados “ancoragem”) devem ser construídos de maneira a permitir que a comporta não tenha infiltrações, que, com o tempo, podem abrir uma fenda e minar pela base a estrutura da barragem. Outro cuidado é relacionado à dilatação ou contração da estrutura, que pode provocar rachaduras, com resultados desastrosos. Para prevenir acidentes deste tipo, o paredão é erguido com a superposição de blocos separados por juntas de dilatação. Estas, são constituídas de betume e sendo maleáveis, adaptam-se às variações das dimensões dos blocos.

Ao construir-se uma represa, são colocados em seu corpo diversos termômetros, que medem a temperatura à distância. Com isso, consegue-se verificar as diferenças de temperatura, sabendo-se se existe ou não o perigo de ocorrerem tensões que possam eventualmente provocar rachaduras (FOX, 2001). A Figura 3.1 mostra um corte esquemático de uma Unidade Hidroelétrica de Energia.

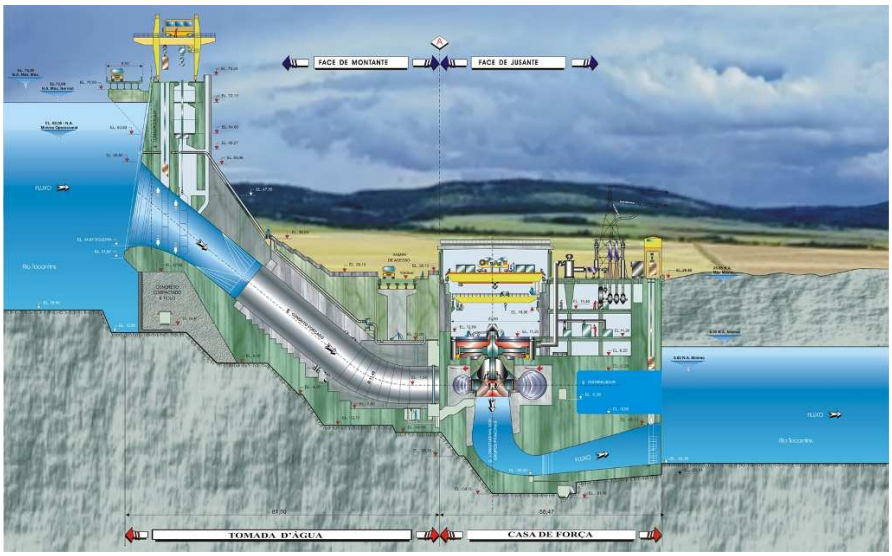

Figura 3.1 – Unidade Hidroelétrica de Energia

Desviada a água, ela penetra em tubos de grande diâmetro, chamados tubos de carga, através dos quais desce até chegar à turbina, cujas pás ela irá

movimentar. A turbina em geral é montada no mesmo eixo do dínamo, de forma que o movimento provocado pela energia mecânica de água no rotor da turbina resultará em eletricidade no gerador (Falcone 1985), como mostra a Figura 3.2.

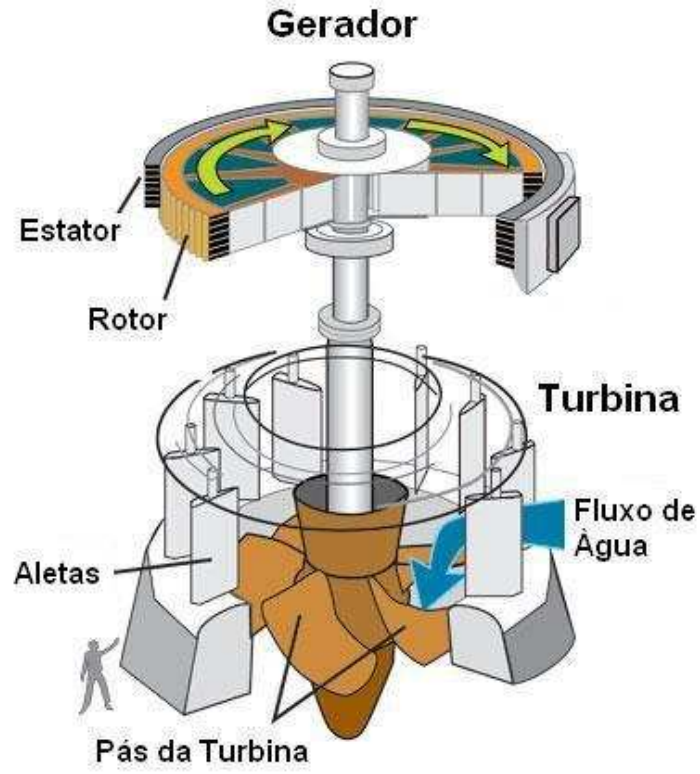

Figura 3.2 - Modelo esquemático da produção de eletricidade em uma UHE

Cada Unidade Hidrelétrica de Energia (UHE) é um grande gerador de eletricidade que utiliza a energia potencial do desnível de água que passa por uma tubulação para mover um conjunto de pás (turbina). Estas por sua vez, giram um gigantesco induzido (rotor) no interior de uma armadura de espiras (estator) produzindo corrente elétrica através do efeito conhecido como Indução Eletromagnética (FALCONE, 1985).

Uma Usina Hidrelétrica (ou Central Hidrelétrica) é um complexo gerador de energia composto por várias UHEs. Cada UHE pode ser dividida esquematicamente em três seções principais: tubulação, turbina e gerador, como mostra a Figura 3.3.

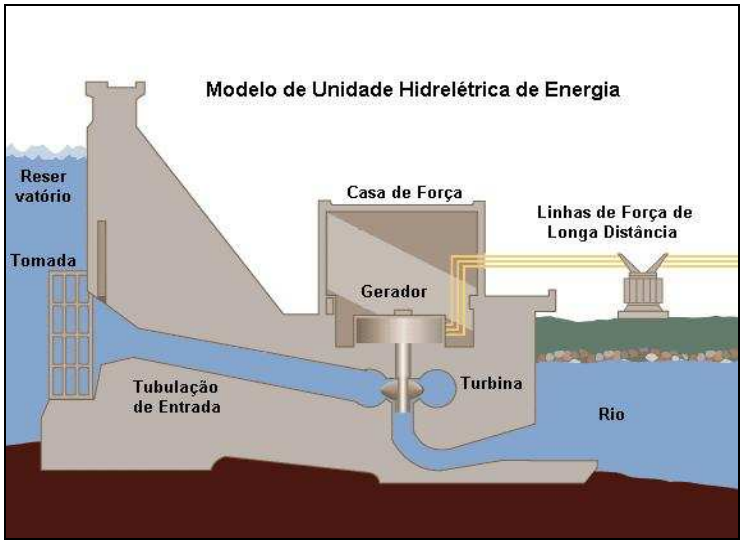

Figura 3.3 - Principais seções de uma UHE

A potência produzida por uma UHE é calculada pela equação:

Potência = Altura da Queda x Vazão do Rio x Eficiência

Onde:

Potência: A potência elétrica gerada em watts.

Altura da Queda: A distancia de queda da água medida em metros.

Vazão do Rio: A quantidade do fluxo de água medida em metros cúbicos por segundo.

Eficiência: Mede a capacidade do conjunto turbina-gerador em converter a potência de queda da água em potência elétrica. UHE's antigas tinham esse índice em torno de 60% (0,60). Os conjuntos atuais possuem eficiência superior a 90% (0,90).

Como as características naturais do rio, altura da queda e vazão não podem ser alteradas pelo homem, a busca é na melhoria técnica do conjunto turbina-gerador. Destes, a turbina é o único elemento que pode ser moldado na tentativa de melhor aproveitar o fluxo de água. Os tópicos a seguir examinam os tipos de turbina existentes com ênfase na que será usada no estudo de caso apresentado nesta dissertação.

3.1 Tipos de Turbinas e seus Empregos

Como visto, a potência é uma função da combinação entre a queda e a vazão da água, sendo que a vazão é a variável mais influente por ser a mais

sujeita a variação. A turbina a ser utilizada deve promover a máxima eficiência na transformação das condições geográficas existentes em eletricidade.

A Tabela 3.1 mostra a classificação adotada para cada queda em função de sua altura.

Classificação	Altura (m)
Baixa	2 – 20
Média	20 – 150
Alta	>150

Tabela 3.1 – Classificação das quedas por altura

No Brasil, os tipos de turbinas mais utilizados são: Pelton, Kaplan, Francis e Bulbo. A Tabela 3.2 demonstra um quadro comparativo das características dessas turbinas.

Turbina	Pelton	Kaplan	Francis	Banki
Queda	Alta	Baixa	Média	Baixa
Vazão	Baixa	Alta	Média	Alta
Classe	Ação	Reação	Reação	Ação
Eixo	Horizontal ou Vertical	Vertical	Horizontal ou Vetical	Horizontal
Vel. Específica				
Características	A água passa sob a forma de jato livre. A energia cinética é convertida em energia mecânica com o aproveitamento da altura da queda d'água.	O fluxo de água passa por uma caixa espiral que tem a função de guiá-la, uniformemente, por toda a circunferência, através de um distribuidor.		De fácil construção, é usada no aproveitamento hidráulico de pequenos rios.

Tabela 3.2 – Quadro comparativo entre os tipos de turbinas utilizados no Brasil

A turbina é escolhida para uma determinada vazão nominal que se verificará em cerca de 20% a 30% dos dias em ano médio. Como o rendimento da turbina depende da vazão é natural que sejam impostos alguns limites de exploração e seja fixada uma faixa de exploração admissível em torno da vazão nominal sem variação apreciável do rendimento. Fora desta faixa a turbina será desligada por falta de rendimento.

Estes limites de exploração são estipulados a partir das curvas de rendimento de cada turbina, mostradas na Figura 3.4. O objetivo é operar com vazões em que a turbina mantenha pelo menos cerca de 80% a 90% de seu rendimento nominal.

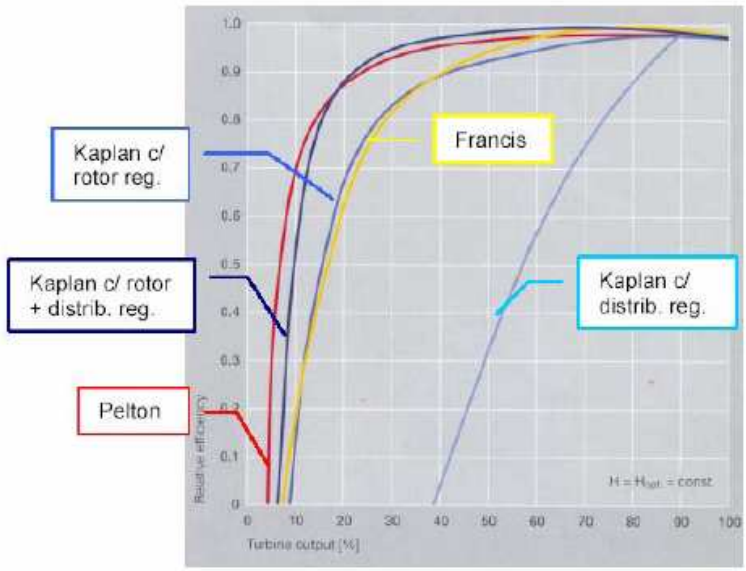

Figura 3.4 – Curvas de rendimento das diferentes turbinas

A partir das características de emprego de cada turbina e da potência desejada é possível criar um diagrama para a escolha da turbina mais adequada, visto na Figura 3.5.

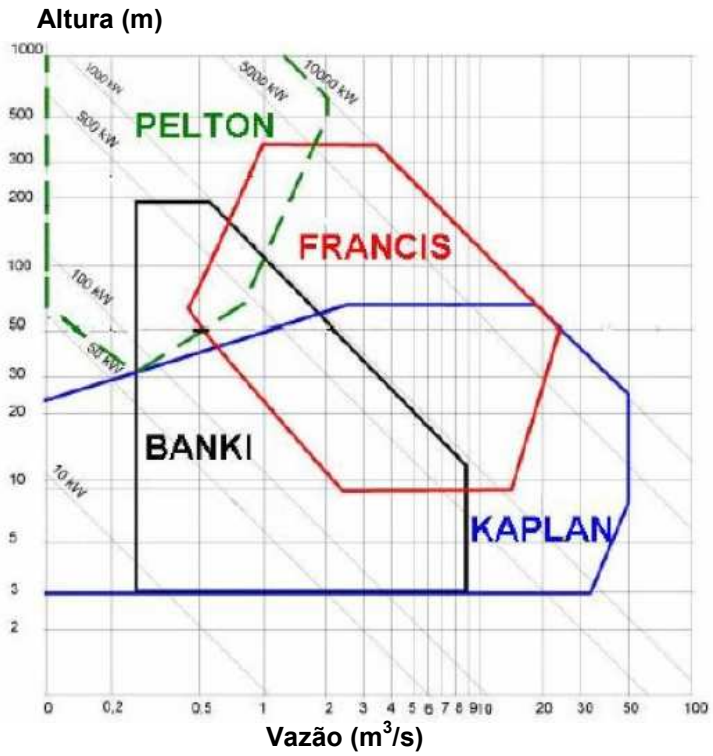

Figura 3.5 – Diagrama de potência gerada por cada tipo de turbina em função da altura e da vazão

3.2 Turbina Francis

O estudo de caso desta dissertação é uma UHE na qual é utilizada, a turbina Francis. Por ser uma turbina altamente eficiente e versátil e indicada para as condições geológicas do local.

3.2.1 Histórico

No ano de 1840 James B. Francis desenvolveu uma turbina que continua sendo utilizada até hoje, com ligeiras modificações, servindo de base para outros tipos de máquinas aplicáveis a quedas com grande volume e pouca energia potencial. Um modelo tridimensional do rotor desta turbina aparece na Figura 3.6.

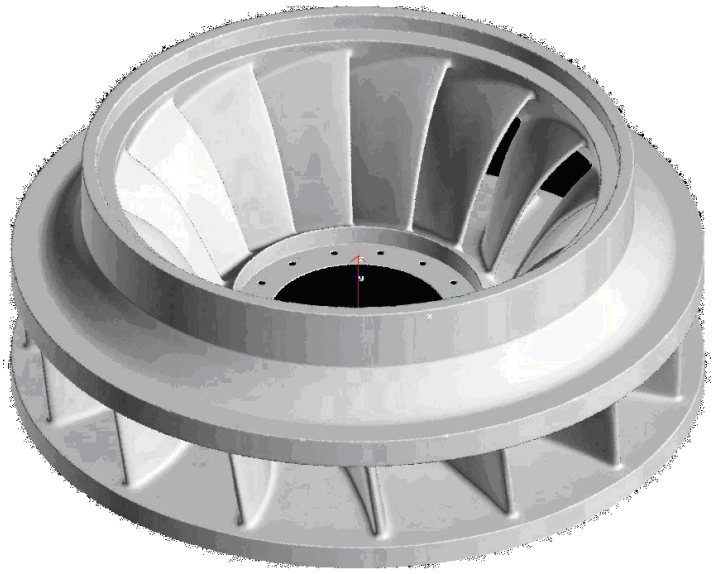

Figura 3.6 - Rotor Francis

A turbina de Francis pode ser usada em uma grande variedade de cabeceiras (alturas de quedas). Sua alta eficiência no processo faz desta uma das principais turbinas usadas em instalações do porte de Megawatt.

É chamada de “impulso de influxo” em sua primeira etapa (entrada) e de “reação de fluxo-axial” em sua segunda etapa (saída). As lâminas da primeira etapa recebem o impulso da água introduzida na turbina do exterior, então a água passa e sai pelo fundo da turbina e as seções inferiores das lâminas são reativas à água saindo da turbina.

3.2.2 Elementos

A turbina Francis é formada principalmente pelos seguintes elementos:

1. Um rotor: formado por uma coroa circular com aletas móveis para poder regular a entrada de fluido, modificando a sua inclinação por meio do regulador.

A entrada do fluido no rotor é radial através de uma câmara em forma espiral (Caixa Espiral), cuja seção diminui de forma progressiva com a finalidade de manter fixa a velocidade.

2. O movimento das pás de distribuição é paralelo às lâminas fixas do rotor.

3. O regulador de velocidade é automático, e mantém a todo instante um equilíbrio entre o par motor e resistência; para isto, atua sobre a entrada de água fazendo com que permaneça constante o numero de revoluções.

4. Um eixo móvel: Constituído por lâminas fixas ao centro, essas lâminas têm a superfície com dupla curvatura.

5. O curso da corrente ao longo das aletas é modificado passando de centrípetos na entrada, em axial na saída. No rotor realiza-se uma pressão menor que a atmosférica, porque o descarregador deve ser hermético para evitar a entrada de ar.

6 Tubo de descarga: Tem como missão juntar o corpo da turbina com o deságüe. Sua finalidade é recuperar a maior parte possível da energia cinética do líquido que sai do rotor, para transformá-la em energia da pressão e, desta forma, procurar que a pressão da corrente de saída se aproxime da atmosférica. A água age sobre as pás radialmente e depois de tê-las cruzado desvia em ângulo reto para descarregar no sentido paralelo ao eixo de rotação, Como mostra a Figura 3.7.

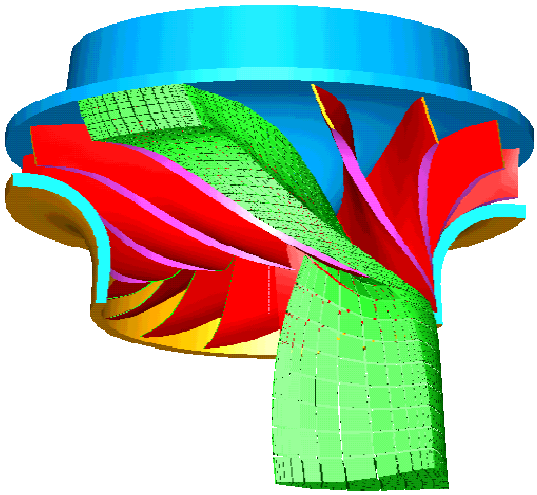

Figura 3.7 - Movimento do fluxo líquido no interior da turbina

As turbinas de Francis podem ser montadas tanto verticalmente como horizontalmente (Figura 3.8). A água pode entrar livremente pela circunferência inteira e pelo anel exterior do diafragma guia. Esses diafragmas guias podem ser ajustados, assim, o montante de água recebida pode ser controlado.

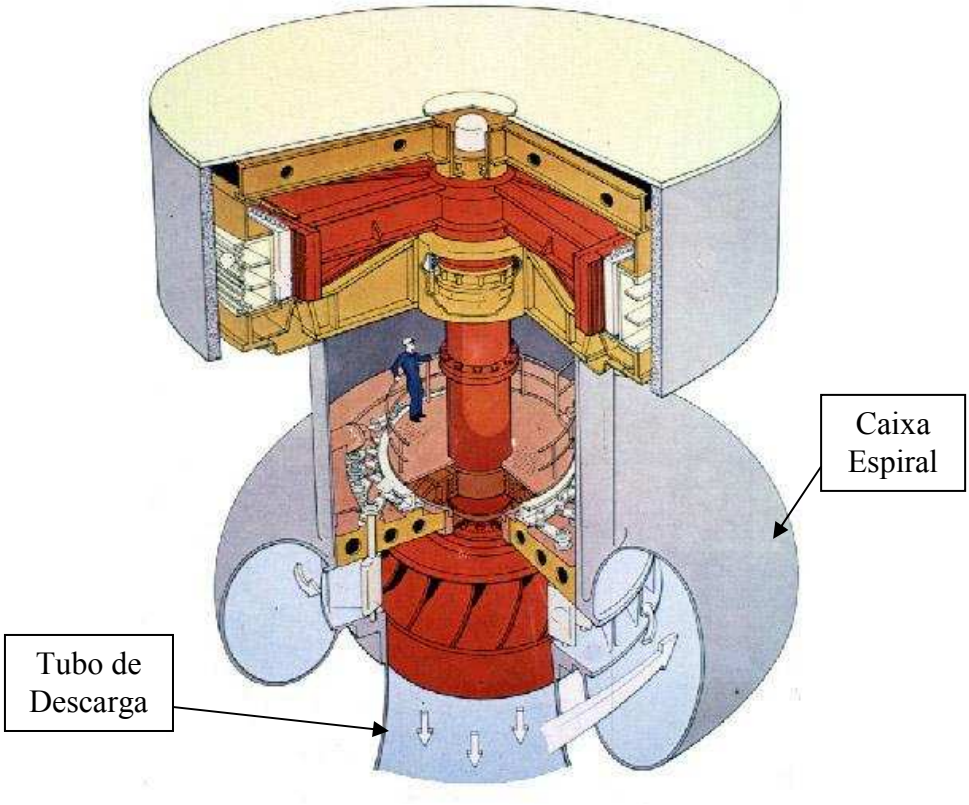

Figura 3.8 - Turbina Francis de eixo vertical montada, destacando elementos da tubulação.

3.3 Usina Hidrelétrica de Tucuruí

O estudo de caso desta dissertação utiliza como referência as plantas da Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, Figura 3.9, na construção dos modelos tridimensionais realistas (CAD) que são usados no mundo virtual.

Figura 3.9 – Vertedouro da UHE Tucuruí

A UHE Tucuruí (Alstom 2002) está situada na Região norte do Brasil na latitude 3º 50’ S e longitude 49º 30’ W no rio Tocantins, estado do Pará, a 300 Km em linha reta da capital. A altitude é de aproximadamente 30m acima do nível do mar. Sua construção foi iniciada em 1976, pela ELETRONORTE e sua operação comercial teve início em 1984, funcionando em sua primeira etapa com 12 unidades hidrelétricas com potência total de 4.245 MW.

Em 1998 em função da demanda crescente por energia, foram retomadas as obras para o que foi chamado de segunda etapa da construção. Nessa, mais 11 unidades hidrelétricas foram montadas. Hoje a usina opera com uma potência instalada de 8.370 MW e possui 23 Unidades Hidrelétricas. É a segunda maior hidrelétrica brasileira (a primeira se for considerado apenas investimento nacional) e a quinta maior do mundo em potência instalada.

Para realizar o levantamento das plantas e coletar os dados necessários para a construção do aplicativo, além de conhecer na prática o funcionamento da usina, foi realizada uma visita à Tucuruí com esse propósito quando da instalação da 23ª Unidade Hidrelétrica, que foi a última a entrar em funcionamento. Nesta visita, aproveitando a montagem da unidade pode-se visualizar todas as suas partes componentes, inclusive aquelas que, após a montagem, ficariam sob a construção civil. Registrou-se fotograficamente todas as peças que ainda estavam em fase de montagem antes de serem baixadas na estrutura, bem como o interior da máquina que seria preenchido com água quando de seu funcionamento. A seqüência de imágens das Figuras 2.10a até 2.10d mostram algumas das fotografias tiradas durante esta visita.

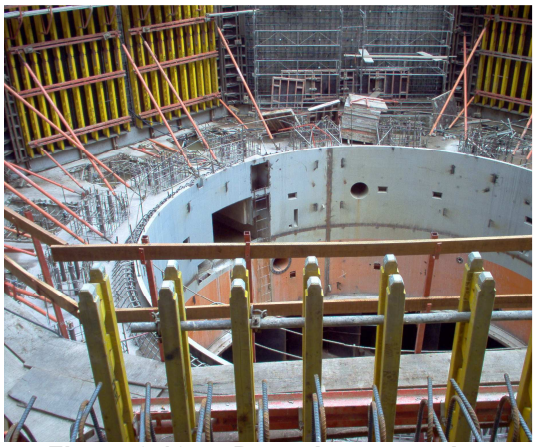

Figura 3.10a – Poço do estator do gerador

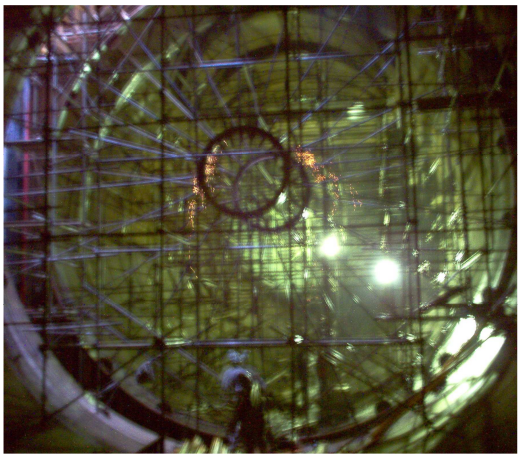

Figura 3.10b – Soldagem interna da caixa espiral

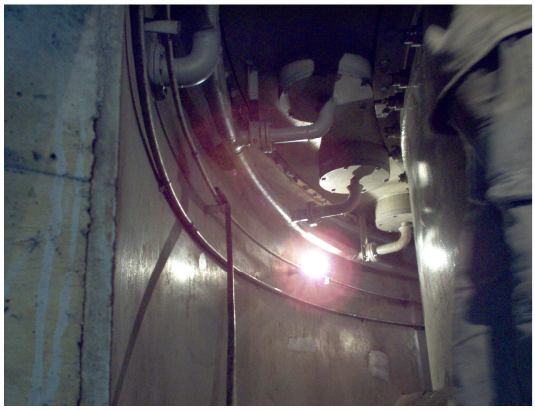

Figura 3.10c – Detalhe do tranqüilizador de óleo

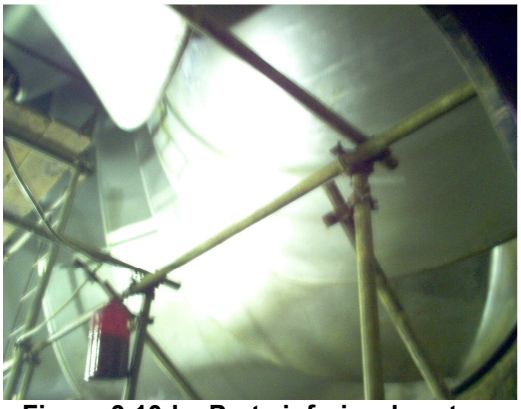

Figura 3.10d – Parte inferior do rotor Francis

Para quantificar a dimensão da usina, a Tabela 3.3 demonstra algumas de suas características técnicas. A modelagem das peças seguiu rigorosamente a dimensão real das peças.

Dados Hidrológicos

.Área de drenagem do rio Tocantins 758 000 Km2
.Vazão máxima 68 400 m3/s
.Descarga de projeto para desvio 56 000 m3/s
.Descarga de projeto do vertedouro 100 000 m3/s
.Descarga limite 110 000 m3/s

Reservatório

.NA máximo normal 72m
.NA máximo maximorum 75,3m
.NA mínimo operacional 51,6m
.Área inundada no NA máximo normal 2 430km2
.Volume total acumulado (cota 72m) 45.500hm3
.Cota de coroamento das estruturas 77,5/78,0m
.Queda líquida nominal 60,8m

Tomada d'água e Casa de Força

.Tipo de tomada d'água Incorp. à barragem

. Tipos de casas de força Abrigada
. Comp. da tom. d'água 366m
. Comp. da casa de força 375m

Turbinas dos Grupos Principais

. Tipo Francis
.Quantidade na 1ª etapa 12
.Potência máxima exigida 330MW
.Capacidade para queda nominal 316MW
.Capacidade para queda mínima 250MW
Rotação nominal 81,8rpm
.Descarga turbina para queda nominal 576m3/s

Níveis d'água de Jusante

. NA máximo excepcional 24,5m
. NA máximo normal (12 turbins operando) 6,8m
. NA mínimo normal (3 turbinasoperando) 3,96m

Barramento (1ª Etapa)

.Comprimentos
-Barramento final no eixo 8 005m
-Estruturas de concreto 1 190m
-Eclusa (cabeça de montante em concreto) 244m
-Barragens de terra/enrocamento e diques 6 571m

.Volumes

-Estruturas de concreto $6,2x10^6m^3$
-Eclusa (cabeça de montante em concreto) $0,4x10^6m^3$
-Barragens de terra/enrocamento e diques $54,4x10^6m^3$

Vertedouro

.Tipo alto de esqui,comportas de segmento
.Comprimento 580m
.Altura máxima 86,5m
.Número de comportas de 20 x 21m 23
.Número de adufas de desvio de 6,5 x 13m 40

Barragens de Terra e de Enrocamento e Diques

.Barragens da margem esquerda $18,8x10^6m^3$
.Barragens do canal do rio e da margem direita $33,2x10^6m^3$
.Diques $2,4 x10^6m^3$

Barragem de Gravidade e Área de Montagem

.Comprimento dos blocos de gravidade 120m
.Comprimento da área de montagem 120m

Geradores dos Grupos Principais

.Tipo "Umbrella"
.Quantidade na 1ª etapa 12
.Capacidade nominal contínua 350MVA
.Tensão 18 a 23kV
.Rotação nominal 81,8rpm
.Fator potência 0,95

Tabela 3.3 – Características técnicas da UHE de Tucuruí (Fonte: Eletronorte)

3.4 – Considerações

Visando contextualizar o estudo de caso a ser apresentado nesta dissertação, o presente capítulo abordou as características de uma Unidade Hidrelétrica de Energia, conceituado-a e às suas partes constituintes.

Mostrou os tipos de turbina existentes e a aplicação de cada uma, bem como as equações e gráficos utilizados para determinar qual a mais eficiente em função das características geográficas de sua aplicação.

Por fim, descreveu as características da construção e da operação da Usina Hidrelétrica de Tucuruí que é a UHE em particular que será explorada no estudo de caso.

Capítulo 4 - Arquitetura do Sistema

Programas com finalidade educacional utilizando Realidade Virtual, necessitam de conteúdos de várias ordens, tais como:

- O objetivo de cada treinamento;
- A seqüência correta de ações do usuário para a conclusão do treinamento;
- Dados para geração do mundo virtual;
- Informações sobre o objeto em estudo, entre outras.

Para comportar essa variada gama de informações diferentes e com características próprias, e ainda criar uma independência de plataforma (e até de aplicação) garantindo maior flexibilidade na implementação, escolheu-se a linguagem XML para o armazenamento dos dados.

4.1 Linguagem XML

XML é abreviação de EXtensible Markup Language (Linguagem de Marcação Extensível), definida pela Recomendação Nº 10, de fevereiro de 1998, do World Wide Web Consortium (W3C, 1998). O W3C é a organização responsável por propor e manter os padrões relacionados a WWW, como protocolos e linguagens, na Internet. Sua Recomendação Nº 10 assegura que os dados estruturados da linguagem são uniformes, independente de aplicação e fornecedores. Esta recomendação é conhecida como a padronização da linguagem XML.

O XML é uma linguagem de marcação, como o HTML, assim, ambas são delimitadas por TAGs que são marcadores indicativos do início e fim de um grupo de dados. A diferença é que enquanto o HTML provê em suas tags informações ao browser de como interpretar o conteúdo dos dados, predefinindo as tags, já que o browser tem que conhecer previamente quais são para poder interpretá-las, as tags XML são definidas pelo próprio usuário e contém tão somente a representação estruturada dos dados. Com isso, o

conteúdo pode ser processsado e usado das mais variadas formas, já que a interpretação dos dados cabe ao sistema que está recebendo as informações. Esse novo tipo de estrutura se mostrou amplamente implementável e fácil de ser utilizado já que possui formato textual e pode ser lido tanto por programas como por pessoas.

O XML é um subconjunto otimizado para transferência de informações da linguagem SGML (Standard Generalized Markup Language) a qual é definida pelo padrão ISO 8879 de 1986. Este tem por finalidade prover um padrão de dados para troca de informações. Herdando a padronização e por suas características tem ampla aplicação industrial, já tendo demonstrado a qualidade intrínseca do formato estruturado em árvore de seus documentos.

A mais importante característica do XML é sua separação da interface com o usuário (apresentação) dos dados estruturados. O HTML especifica como o documento deve ser apresentado na tela por um navegador. Já o XML define o conteúdo do documento. Por exemplo, em HTML são utilizadas tags para definir tamanho e cor de fonte, assim como formatação de parágrafo. No XML você utiliza as tags para descrever os dados, como exemplo tags de assunto, título, autor, conteúdo, referências, datas, etc. Um exemplo é mostrado na Figura 4.1.

```
<?xml version = “1.0” encoding =”ISSO-8859-1”?>
<!-- Cadastro de Itens-->
<Item>
        <Livro Assunto=”Ficção”>
        <Título>Onde Estiveste de Noite?</Título>
        <Autor>Clarice Lispector</Autor>
        <ISBN>160098862-88</ISBN>
        </Livro>
</Item>
```

Figura 4.1 – Exemplo de documento XML

Pode-se notar que a linguagem armazena seus dados em uma árvore estruturada. Com isso fornece um padrão que pode codificar o conteúdo, as semânticas e as esquematizações para uma grande variedade de aplicações; desde as mais simples até as mais complexas. Outra característica importante é que uma vez tendo sido recebido o dado pelo cliente, esse pode ser manipulado, editado e visualizado sem a necessidade de reativar o servidor.

Dessa forma, os servidores têm menor sobrecarga, reduzindo a necessidade de computação e reduzindo também a requisição de banda passante para as comunicações entre cliente e servidor.

O XML tem grande importância na Internet e em grandes intranets porque provê a capacidade de interoperação dos computadores por ser um padrão flexível, aberto e independente de dispositivo, as aplicações podem ser construídas e atualizadas mais rapidamente além de permitir sua visualização de múltiplas formas diferentes.

4.2 Tags XML

A característica básica de uma linguagem de marcação é possuir delimitadores ou tags envolvendo seus conteúdos. A Figura 4.2 mostra uma parte da descrição de um dos componentes da UHE.

```
<UNIDADEGERADORA>
        <potencia>POTENCIA TOTAL : 382 MW</potencia>
        <velocidade>VELOCIDADE : 81,8 rpm</velocidade>
        <queda>ALTURA DA QUEDA : 61,7 m</queda>
        .
        .
        .
</UNIDADEGERADORA>
```

Figura 4.2 – Trecho contendo parte da descrição da UHE.

Cada unidade de conteúdo é delimitada por uma tag de abertura **<potência>**, por exemplo, e uma Tag de fechamento, **</potência>**.

Para que os dados contidos em um documento XML possam ser utilizados, suas regras básicas de formatação devem ser obedecidas. Um documento XML cujas regras de formatação são respeitadas é chamado **Bem Formatado** e obedece a estrutura da linguagem, ou seja, possui todas as suas informações corretamente delimitadas em Tags.

4.3 Aplicação dos documentos XML à arquitetura do sistema.

Como foi dito no início deste capítulo, a gama de informações necessárias a um sistema educacional industrial é grande e estas podem estar inter-relacionadas ou não. Para armazenar esses dados, foi idealizada uma estrutura em que os documentos XML estão inter-relacionados formando uma hierarquia, como mostra a Figura 4.3. Este relacionamento é a base da

construção dos dados utilizados pelo sistema e espelha em um nível mais alto a organização da árvore de peças da planta industrial.

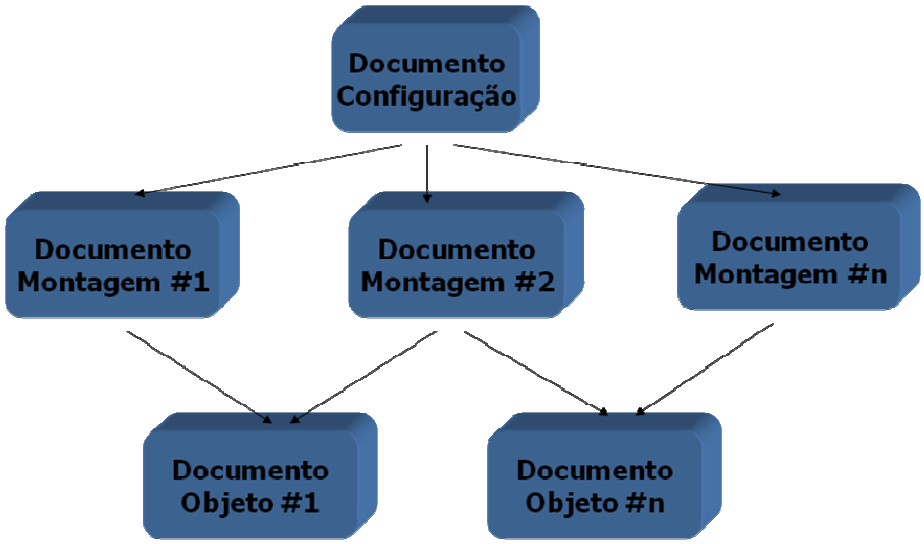

Figura 4.3 – Relacionamento entre os documentos XML do sistema

A quantidade de documentos XML varia apenas em função da complexidade da planta a ser representada. Os três níveis que aparecem servem para separar as funções de cada um dos documentos na arquitetura do sistema.

Algumas das TAGs utilizadas em cada tipo de documento serão vistas em seguida, porém como foi visto neste Capítulo a linguagem XML é flexível e essas TAGs podem ser acrescentadas ou renomeadas livremente por quem utilizar a arquitetura.

4.3.1 Documento de Configuração

O documento de configuração é o primeiro XML lido, ao iniciar o sistema. É único para cada planta e seu objetivo é fornecer os dados necessários à geração do ambiente virtual. Neste documento constam todas as peças que compõem a visão inicial da planta que será objeto do aprendizado. Cada peça no documento é identificada por seu nome e sua posição inicial em X, Y e Z, como mostrado na Figura 4.4.

```
<Peças>
        <Espiral>
                <POSX>6,107</POSX>
                <POSY>65,058</POSY>
                <POSZ>39,603</POSZ>
                <NOME>Caixa Espiral</NOME>
        </Espiral>
        .
        .
        .
```

Figura 4.4 – Fragmento de um documento de configuração.

Como a finalidade deste documento é compor a cena inicial que será exibida ao usuário, montando cada peca em seu lugar e reservando seu nome para exibição na árvore de peças, as tags do documento são: NOME, POSX, POSY e POSZ.

4.3.2 Documentos de Montagem

Estes documentos armazenam a seqüência de montagem e desmontagem de cada agrupamento de peças, definindo a hierarquia do modelo. Pelas informações contidas nesse documento, é possível deslocar-se pela árvore de peças já que este documento contém a hierarquia com que as peças estão relacionadas. Armazena também as informações textuais sobre essa hierarquia que devem ser exibidas ao usuário.

4.3.3 Documentos de Objetos

É dividido em dois subgrupos de documentos. O primeiro grupo guarda as informações sobre o objeto que será exibido ao usuário, como: Material de construção, peso, comprimento, etc. O segundo grupo são os documentos que armazenam dados para a construção geométrica dos objetos, como: posição, material, iluminação, nível hierárquico, etc. A Figura 4.5 mostra a descrição textual de um dos objetos.

```
<?xml version="1.0" encoding ="ISO-8859-1"?>
        <ANELCOLETOR>
                <NOME>ANEL COLETOR</NOME>
                <DESC>Elemento de conexão de corrente, através de escovas,
                entre o sistema de excitação e os enrolamentos dos pólos do
                rotor.</DESC>
                <PESO>PESO DO CONJUNTO : 2,0 kN</PESO>
                <DIAMETRO>DIÂMETRO EXTERNO DE CADA ANEL :
                2000mm</DIAMETRO>
                <ESPESSURA>espessura 120mm. </ESPESSURA>
        </ANELCOLETOR>
```

Figura 4.5 – Documento de Objeto

O formato dos documentos XML permite que os mesmos sejam alterados por qualquer editor de texto, assim é possível modificar a seqüência a posição ou a descrição dos objetos da cena bastando alterar seus respectivos documentos. A autoria de novas configurações ou de novas plantas é realizada criando-se ou alterando-se os documentos XML o que faz com que o sistema prescinda de um módulo exclusivo para autoria.

4.4 Arquitetura do Sistema

Em seu trabalho, Bluemel (2003) cita que os ambientes de ensino que utilizam RV têm em comum três características que operam em conjunto para a produção do resultado esperado:

- **Ambiente**: Consiste na representação virtual do ambiente onde o ambiente educacional será executado. Esta parte pode ser caracterizada como sendo os dados utilizados para a construção do ambiente, como: geometria, materiais, animação, características físicas, etc. O Conjunto desses dados carregados forma a Cena Educacional. Todos os dados relevantes para uma cena em particular ficam armazenados em documentos digitais e são referenciados como Arquivos de Dados de Cena.

- **Gerenciador de Ambiente**: Além dos dados específicos da aplicação, deve haver um conjunto de funcionalidades comuns a todos os ambientes de treinamento, que são necessárias para manipular e interagir com os objetos no ambiente virtual. Exemplos dessas funcionalidades comuns incluem carregamento e interpretação dos dados da cena, movimentação no mundo virtual, manipulação de objetos, etc. O Gerenciador de Ambiente pode ser utilizado em mais de um tipo de cena.

- **Ferramenta de Autoria**: O treinamento em plantas complexas exige uma descrição detalhada do que deve ser executado. Para facilitar essa descrição o sistema deve oferecer uma forma simplificada de entrada das informações que serão utilizadas durante o treinamento. Essa facilidade é denominada Ferramenta de Autoria.

A arquitetura desenvolvida nesta dissertação, e apresentada na Figura 4.6, possui as características citadas. A função do **ambiente** consiste nas tarefas atribuídas aos modelos 3D e documentos XML e seu relacionamento. A função do **gerenciador de ambiente** é executada pelo Gerenciador de Treinamento e seus módulos auxiliares e a **autoria** é feita pelas alterações nos documentos XML e nos modelos 3D permitindo a criação de novos ambientes educacionais. Essa arquitetura é flexível, e pode ser empregada em outros treinamentos, já que os modelos e suas informações são carregados em tempo de execução, bastando, portanto que estes sejam modificados.

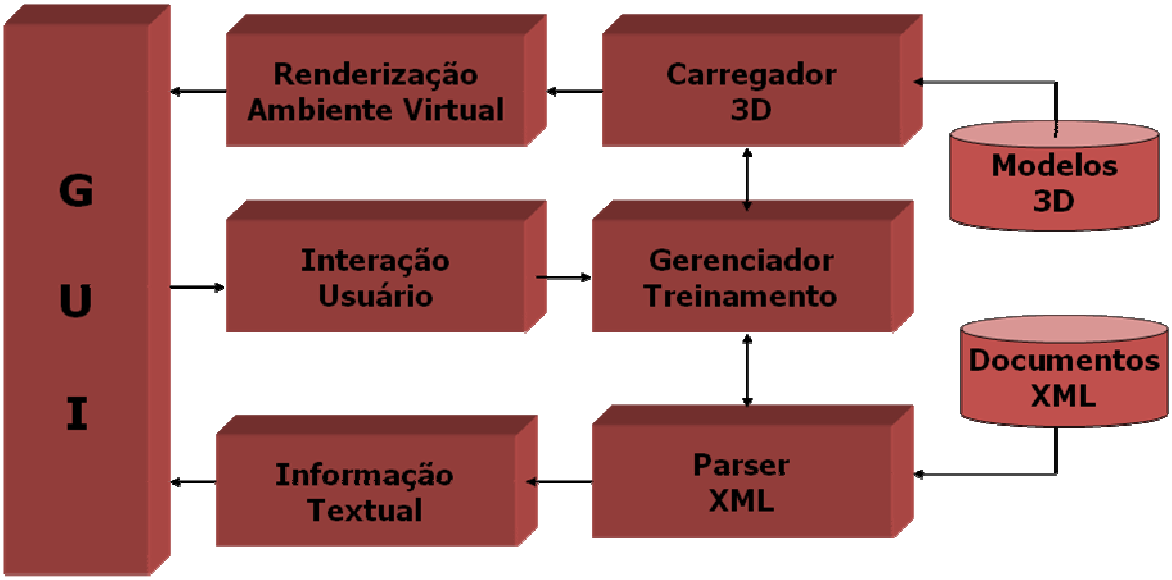

Figura 4.6 – Arquitetura do Sistema

Os elementos da arquitetura são:

Gerenciador de Treinamento é o módulo principal do sistema. Quando o sistema se inicia, aciona o **Parser XML** para realizar a carga do **Documento de Configuração** que é o XML contendo as informações iniciais de composição da cena, como quantidade, posição e nome dos objetos que comporão a cena inicial. Com essas informações extraídas o Gerenciador monta a interface do usuário. Durante toda a execução do sistema o Gerenciador continua ativo, acionando os módulos necessários em cada passo do treinamento, por exemplo, se for necessário carregar novos modelos na cena, o gerenciador ativa o **Carregador 3D** para executar a ação, se for necessário carregar informações sobre o modelo ou sobre qualquer outro

tópico de interesse dentro do processo de aprendizado, o Gerenciador aciona o Parser XML para realizar a operação.

Parser XML é o módulo responsável por decodificar os documentos XML em busca das informações solicitadas. Opera sob comandos do módulo principal através de métodos que retornam dados individuais ou grupos de dados.

Carregador 3D ou **Loader 3D**, responde pelo carregamento e descarregamento em memória dos modelos 3D utilizados em cada passo do treinamento. Trabalha sob comando do módulo principal e carrega o modelo ou o grupo de modelos solicitados por este.

Renderizador é o "motor" gráfico responsável pela exibição do ambiente virtual ao usuário, ou seja, envolve o driver, a biblioteca gráfica e a placa de vídeo utilizada.

Para otimizar o desempenho, o algoritmo do Gerenciador de Treinamento só envia ao renderizador exatamente os modelos que devem ser exibidos naquele momento, retirando da memória o que não for importante naquele passo específico do aprendizado. Isto evita o consumo desnecessário de memória e processamento.

Informação Textual responde pela exibição ao usuário dos dados textuais. As informações exibidas são dinâmicas e dependem de vários fatores, como conteúdo do ambiente virtual, natureza do aprendizado, nível do treinando, ação executada, entre outros. Por exemplo, no treinamento educativo, cujo objetivo é o reconhecimento da planta e de seus componentes, as informações textuais são dados técnicos sobre o que está sendo visualizado. Já em um treinamento de manutenção, os dados textuais contêm a seqüência de ações, que devem ser tomadas. Cada ação exibida no mundo virtual é acompanhada da respectiva informação representação na parte textual do sistema.

O **módulo de interação** com o usuário compreende os dispositivos e drivers responsáveis por receber os estímulos externos do usuário. Basicamente, estes estímulos são realizados através do mouse e do teclado,

que representam a intenção e a ação que o usuário deseja tomar durante determinada parte do ensino.

Esta arquitetura apresenta vantagens quando comparada com as propostas por Wang (2004), Zheng-ping (2003) e ChangHoon (2002), como:

- Independência de plataforma, linguagem ou modelagem dos objetos.
- Simplicidade de implementação.
- Agilidade na renderização pela otimização na exibição dos objetos.

A única obrigatoriedade para a implementação da arquitetura é a utilização de documentos XML como repositório de informações. Mas, como foi visto, esta linguagem é o padrão mundial para intercâmbio de dados, assim em vez de uma restrição, seu uso pode ser considerado uma ampliação nas funcionalidades do sistema.

4.5 Engenharia de Software

Pelas características mostradas na arquitetura do sistema, existem muitas classes realizando tarefas diversas. Para manter o controle do processo de desenvolvimento e ainda utilizar as técnicas de **Engenharia de Software**, utilizou-se o desenvolvimento **orientado a objetos** (PRESSMAN, 1995).

A engenharia de software é a parte do conhecimento informático voltada para a especificação, desenvolvimento e manutenção de sistemas de software. Seu fundamento apóia-se no uso de modelos abstratos e precisos que representam em alto nível o sistema em questão. A metodologia utilizada no desenvolvimento desta dissertação foi o **Processo Unificado** (JACOBSON, 1998), que é um processo interativo e incremental apoiado em fases e diagramas.

O primeiro artefato preconizado pela metodologia é o Diagrama de Caso de Uso, que é retirado dos requisitos da aplicação. É o mais importante diagrama da metologia, por traduzir de forma clara as funcionalidades presentes no sistema, de modo a validá-las com o usuário. Como os demais artefatos, o Caso de Uso evolui à medida que as iterações do processo são realizadas. A

Figura 4.7 mostra o diagrama de caso de uso de alto nível do sistema.

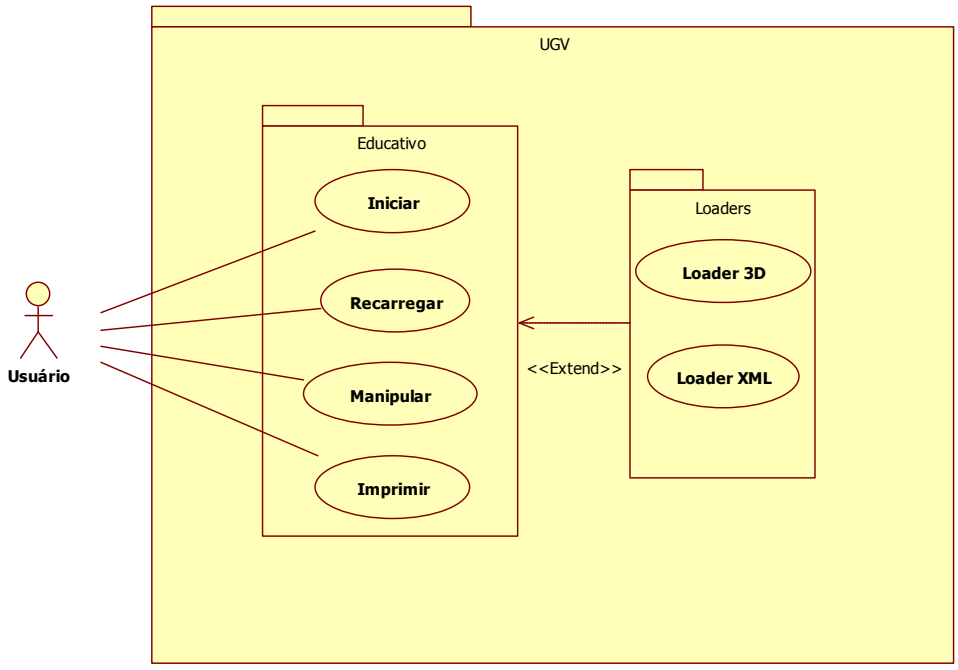

Figura 4.7 – Diagrama de Caso de Uso de alto nível do sistema.

Os diagramas de caso de uso obtidos nas iterações subseqüentes vão refinando o modelo anterior acrescentando mais funcionalidades à medida que se fazem necessárias.

O produto final do processo, é um diagrama que represente as interações entre as classes (e consequentemente os objetos, que são instâncias das classes). Esse diagrama é chamado de Diagrama de Classes, de posse de um modelo deste tipo, é possível fazer a implementação do sistema em qualquer linguagem orientada a objetos. Na prática, a maior parte das ferramentas de modelagem já faz a geração de código automaticamente. A Figura 4.8 mostra o digrama de Classes do Sistema.

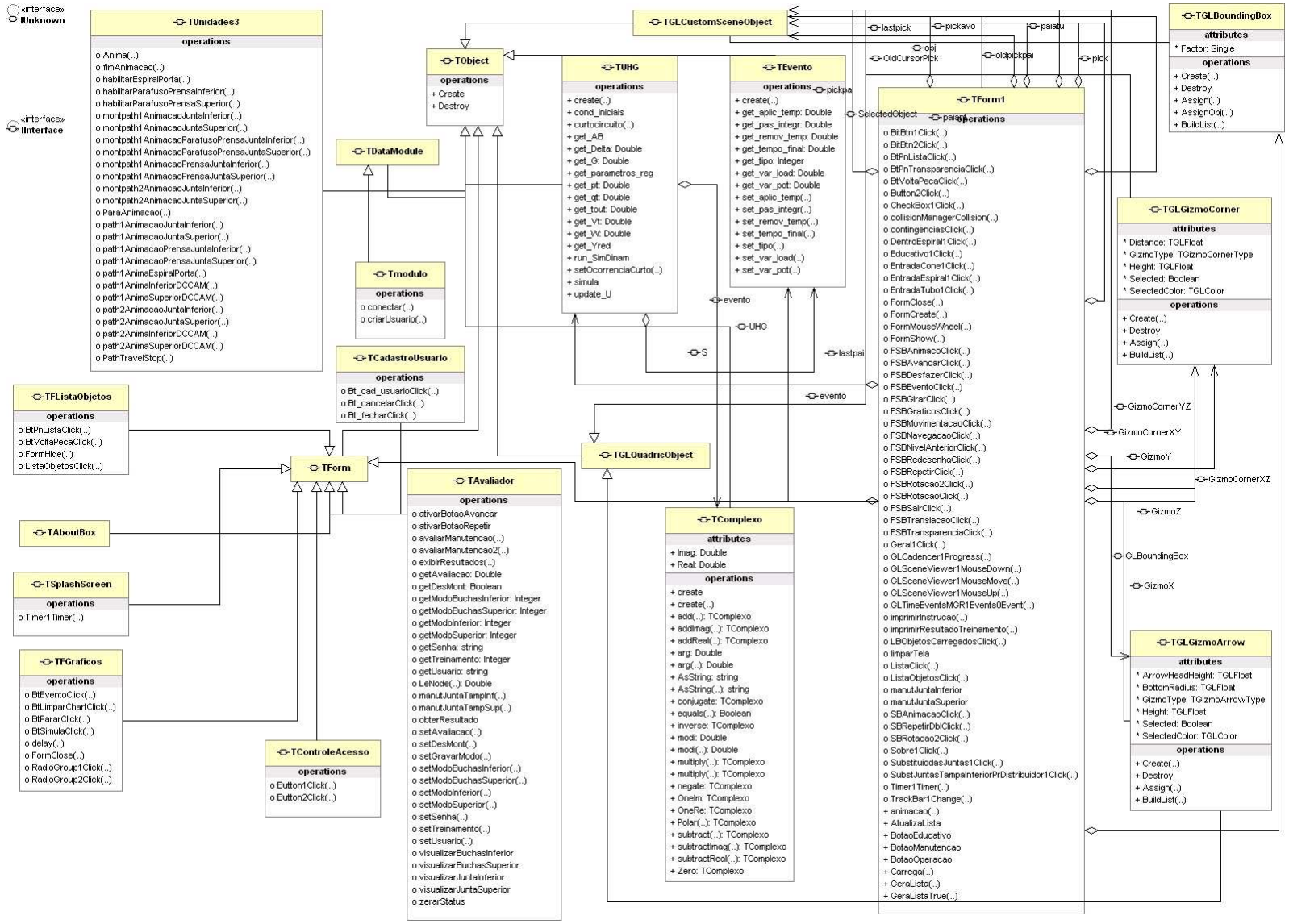

Figura 4.8 – Diagrama de Classes do Sistema UGV

O diagrama de classes lista todos os conceitos do domínio que serão implementados no sistema e as relações entre esses conceitos. Ele é muito importante por definir a estrutura do sistema a desenvolver. As classes são as entidades produtoras dos objetos (os objetos instanciam classes).

Como em geral não se tem classes isoladas, mas ligadas entre si, o relacionamento é o mecanismo de comunicação entre elas e define responsabilidades a essa união. Os três mais importantes tipos de relacionamento são:

- **Associações**: São relacionamentos estruturais entre instâncias e especificam que objetos de uma classe estão ligados a objetos de outras classes. Subdividem-se em: **Agregação**, que é o relacionamento chamado todo/parte, onde os objetos parte somente são criados se o todo ao qual estão agregados existir; **Composição**, que é o relacionamento entre um elemento (o todo) e outros elementos (as partes) onde as parte só podem pertencer ao todo e são criadas e destruídas com ele.

- **Generalização (herança)**: Relacionamento entre um elemento mais geral e um mais específico. Onde o elemento mais específico herda as propriedades e métodos do elemento mais geral. A relação de generalização também é conhecida como herança no modelo a objetos. Como a relação de dependência, ela existe só entre as classes.

- **Dependências**: São relacionamentos de utilização no qual uma mudança na especificação de um elemento pode alterar a especificação do elemento dependente. A dependência entre classes indica que os objetos de uma classe usam serviços dos objetos de outra classe.

Para demonstrar a abstração destes conceitos, o processo unificado utilizando a **Linguagem de Modelagem Unificada (UML)** (Booch, 1998) representa-os graficamente como mostrado na Figura 4.9.

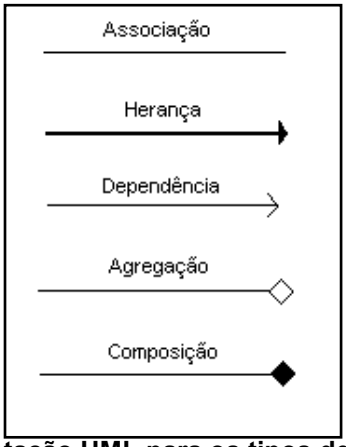

Figura 4.9 – Notação UML para os tipos de relacionamento.

Além das representações de relacionamentos, a UML também provê uma representação para as classes com suas principais características: **atributos** e **métodos**.

- **Atributo**: um atributo representa uma propriedade que todos os objetos da classe têm, mas cada objeto terá valores particulares para seus atributos.

- **Métodos**: são ações que implementam uma operação. Uma classe pode ter qualquer número de métodos e dois métodos em duas classes diferentes podem ter o mesmo nome.

A Figura 4.10 mostra a representação gráfica de uma classe e suas características.

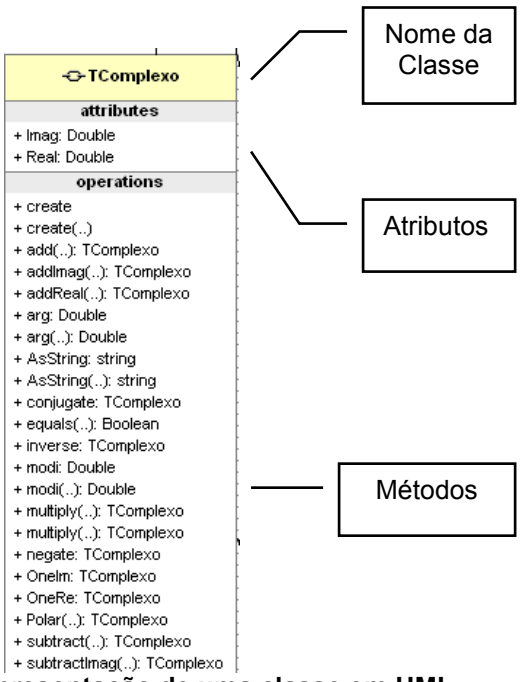

Figura 4.10 – Representação de uma classe em UML

4.6 – Considerações

Este capítulo descreveu a arquitetura computacional que compõem o sistema. A importância dos documentos XML, a estrutura hierárquica das peças e seu diagrama de módulos, explicando o funcionamento de cada um deles.

Abordou também o processo de criação do sistema, utilizando orientação a objetos, partindo de seu diagrama inicial, o Diagrama de Casos de Uso até chegar em seu diagrama de implementação, que é representado pelo Diagrama de Classes.

Capítulo 5 Unidade Geradora Virtual

No estudo de caso desta dissertação, utilizou-se a arquitetura descrita no capítulo anterior na implementação de um sistema que produzisse em um ambiente virtual uma Unidade Hidrelétrica de Energia (UHE). Por ter a UHE virtual as mesmas características e comportamento da UHE real, denominou-se esta de **Unidade Geradora Virtual (UGV)**. Este Capítulo trata do funcionamento do sistema e descreve suas características.

5.1 Ambiente de implementação

Para realizar o desenvolvimento e a implementação do sistema utilizou-se o ambiente de desenvolvimento **Delphi versão 7**. Este ambiente facilita o desenvolvimento de aplicações que possuam forte característica visual, pois sua **IDE (Integrated Development Environment)** simplifica a visualização do resultado obtido ainda em tempo de projeto. Além disso a linguagem utilizada é **o Object Pascal** que é uma linguagem já fundamentada, estando em sua sétima versão e orientada a objetos, o que permite o desenvolvimento segundo os paradigmas desse tipo de desenvolvimento.

Para a geração do ambiente gráfico, integrou-se ao Delphi a **API (Application Programming Interface) GLScene** (GLSCENE 2006). Esta é uma API de código aberto (Open Source) que provê a implementação da API **OpenGL (Open Graphics Library)** que por sua vez é o padrão multiplataforma para a produção de gráficos 3D. O GLSCene é a implementação do OpenGL para a linguagem Object Pascal.

O Hardware utilizado foi um microcomputador PC com processador Pentium IV de 3.0 MHz e 4GB de memória RAM com uma placa de vídeo Quadro FX 1100.

5.2 Modelagem 3D

Uma UHE á composta de dezenas de milhares de peças. Desde parafusos com alguns milímetros até rotores pesando centenas de toneladas. Para realizar a modelagem destas peças foram fornecidos pela Eletronorte manuais impressos e desenhos 2D em **AutoCAD** das partes da UHE e suas peças constituintes. Esses desenhos esquemáticos serviram de base para a produção

dos modelos tridimensionais das peças. A construção dos modelos foi feita em duas etapas. Primeiro os modelos bidimensionais das plantas que possuíam representação esquemática no AutoCAD foram recriados tridimensionalmente usando essa mesma ferramenta.

Depois deste passo os modelos foram exportados para o **3D Studio** que é uma ferramenta voltada a criação de modelos para computação gráfica e que possui um formato de exportação de dados considerado padrão para exportação de modelos tridimensionais, cuja extensão é **3DS**. Cada uma das peças foi subdividida em suas partes constituintes e essas novamente subdivididas até se chegar á menor peça modelável de cada parte da UHE. A própria constituição das peças da UHE implica em uma estrutura hierárquica onde peças estão ligadas a outras construindo peças maiores que por sua vez estão ligadas novamente constituindo novas peças e assim até chegar a toda a UHE. A Figura 5.1 mostra uma parte da hierarquia de peças.

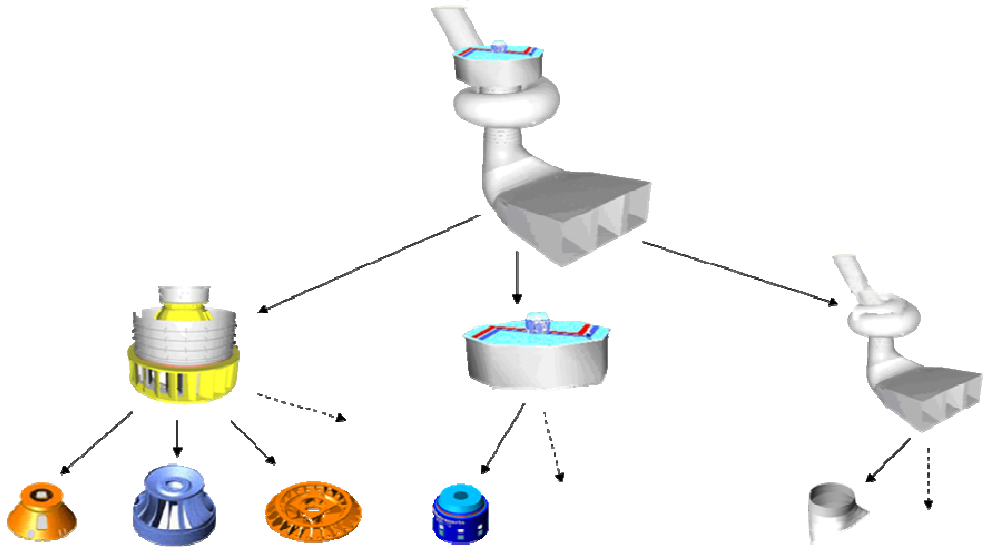

Figura 5.1 – Árvore de peças da UHE

Para cada uma dessas peças foi criado um arquivo 3DS individual que é carregado pelo Carregador 3D. A ligação entre eles é mantida através dos Documentos de Montagem, que indicam a ligação entre as peças. Os modelos só são carregados na hora em que são necessários na cena, ou seja, durante a execução do sistema e ficam armazenados em uma estrutura chamada **Grafo de Cena** que é uma representação virtual da árvore de peças carregadas na

memória**.** No trabalho de van Leuween (2001) é feita uma avaliação do uso de modelos CAD em ambientes virtuais. Este recomenda como melhor solução, o uso de modelos CAD com API OpenGL que é exatamente a solução adotada nesta dissertação.

Como visto no Capítulo 1, modelos CAD não são totalmente adequados para a utilização em RV. Apesar de serem realistas, justamente essa característica faz com que possuam muitos detalhes e com isso muitos vértices e polígonos tornando-os muito grandes o que, para uma representação em tempo real, requer um alto poder de processamento, ou seja a necessidade de máquinas mais caras para a execução do sistema. Como um dos objetivos do sistema é o funcionamento em máquinas de baixo custo, barateando sua implantação, os modelos CAD foram revistos durante a modelagem das peças. No Autocad as mesmas foram analisadas do ponto de vista visual e funcional e os detalhes que não eram importantes para o funcionamento correto do modelo no mundo virtual foram agrupados, ou eliminados sem, contudo alterar o modelo. Com isso conseguiu-se diminuir os modelos e consequentemente a carga de processamento necessária sem prejuízo de sua visualização ou função.

5.3 Interface

A interface do sistema apresenta como diferencial em relação aos demais sistemas educacionais utilizando RV, em particular o apresentado por Wang (2004), a adaptação dos controles a disposição do usuário em função das operações que este está realizando. A interface possui menus, botões e informações que se alteram de acordo com o que está ocorrendo no mundo virtual. Isto é conseguido porque essas informações estão armazenadas nos documentos XML, a cada interação do usuário o sistema carrega as informações dos documentos XML daquele ponto, e assim, a mesma interface pode ser utilizada sem alterações para outros tipos de treinamento sem necessidade de modificação no código do programa. A Figura 5.2 mostra os elementos da interface do sistema.

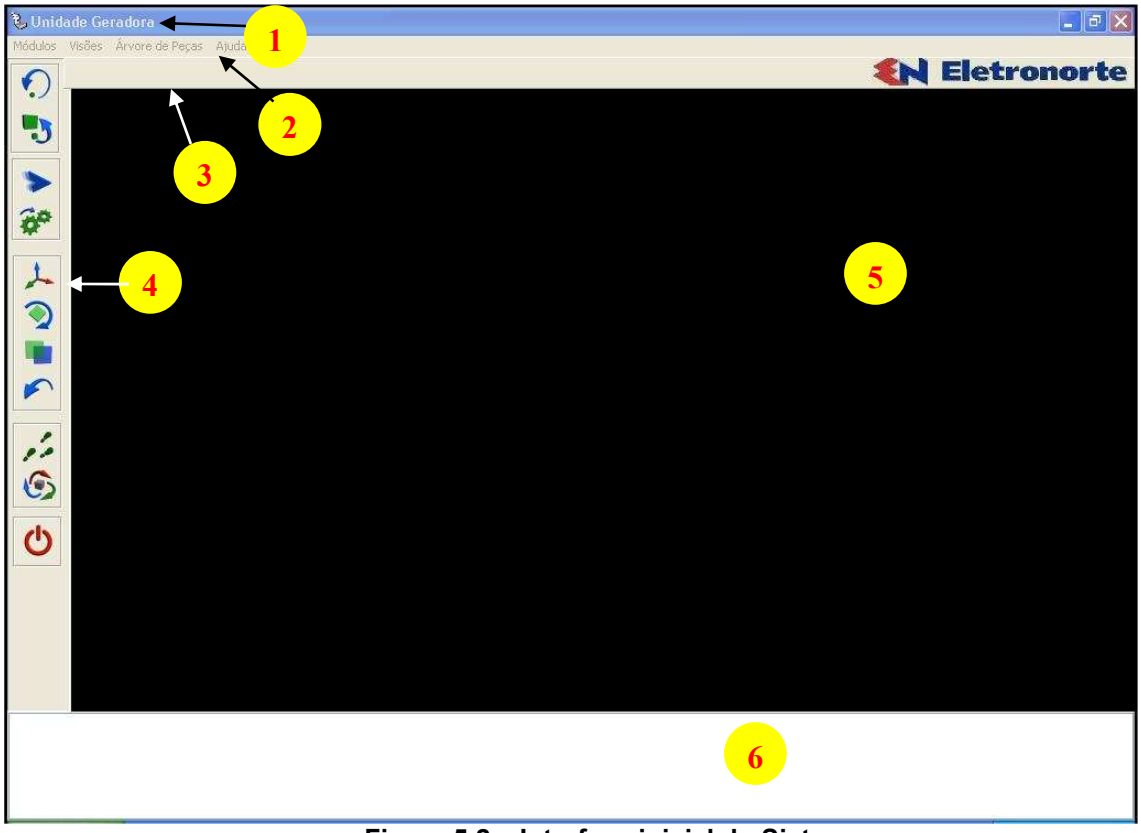

Figura 5.2 – Interface inicial do Sistema, enumerando suas principais características

Esta interface foi projetada buscando atender dois objetivos básicos, que norteiam a criação de qualquer interface e mais particularmente das interfaces de sistemas educacionais:

- Fácil entendimento por parte do usuário;
- Ampla gama de informações e interações à disposição deste.

Para que além de atender essas características o sistema também permanecesse flexível, as seções da interface foram criadas de forma a se adaptar e carregar seu comportamento dos documentos XML. Abaixo são conceituadas cada uma de suas partes:

1. Barra de Títulos: A parte superior da janela é usada para exibir o nome da aplicação, **Unidade Geradora Virtual** e o módulo selecionado. No início da execução, como o usuário ainda não selecionou nenhum módulo, esta parte ainda não aparece.

2. Barra de Menus: Nesta área são disponibilizados os menus que o usuários terá acesso. No início da aplicação, as opções disponíveis são: Módulos, Visões, Árvore de peças e Ajuda.

3. Árvore de Peças: Este painel, exibido sob o menu, mostra a hierarquia das peças que constituem a UGV. O nível mais alto, ou a raiz, é numerado com 0 (zero) e corresponde a UGV como um todo. Os demais níveis da UGV são numerados crescentemente. Neste painel, o usuário visualiza o número correspondente, e assim é possível visualizar o nome da peça ou agrupamento de peças sendo exibido no mundo virtual e seu nível na hierarquia da UHE.

4. Botões de Ação: O lado esquerdo da interface contém os botões que são utilizados pelo usuário para interagir com o mundo virtual. Esses botões são agrupados por funcionalidades e permitem que o usuário possa mover-se no ambiente e mover as peças, rotacioná-las, torná-las transparentes, etc.

5. Mundo Virtual: Esta é a área na qual as renderizações tridimensionais ocorrem. O usuário interage diretamente com as peças exibidas através do *picking*, podendo obter informações, desmontá-las, descer níveis na hierarquia, etc.

6. Área Textual: A parte inferior da tela exibe informações textuais sobre o que está acontecendo no mundo virtual. O conteúdo dessas informações é variável e dependente das ações que ocorrem no mundo virtual. Na parte educacional, cujo objetivo é demonstrar as características de cada componente da UHE, são exibidas informações como tamanho, peso, material, características de funcionamento, entre outras.

5.4 Menu

A Figura 5.3 exibe a Barra de Menus que é a ferramenta pela qual o usuário tem acesso direto às configurações globais do sistema.

Figura 5.3 – Barra de Menus da aplicação

Através do menu o usuário pode selecionar o módulo que será executado, o ângulo de visualização do ambiente que deseja, entre outras funções. Esta seção descreve a funcionalidade de cada opção do menu.

5.4.1 Módulos

A opção módulos do menu, expandida na Figura 5.4, permite ao usuário escolher o tipo de operação que o programa executará. Nesta dissertação será discorrido sobre as funcionalidades do módulo educativo. Os demais módulos utilizam os mesmos conceitos que serão vistos para o módulo educativo apenas executando outras funções.

Figura 5.4 – Menu Módulos

Detalhes sobre o módulo de manutenção são apresentados em trabalhos (Pamplona (1), (2), 2006). O módulo de operação é descrito em (Lopes, 2006).

A opção Educativo carrega a UGV no mundo virtual. Porém, no mundo real, a parte interna da UHE está encoberta pela construção civil, como pode ser visto na Figura 5.5.

Figura 5.5 – UGV com a construção civil

Ou seja, a simulação realista neste caso apresenta uma desvantagem que é encobrir a máquina da UGV. Como o objetivo deste módulo é fornecer ao usuário recursos para conhecer o funcionamento interno da unidade, bem como, cada uma de suas partes constituintes, a visualização real não é a mais indicada. Por outro lado, funcionários experientes desejam ter a visão real e realizar a exploração utilizando as passagens existentes na usina. Para atender qualquer uma das situações o programa permite ao usuário escolher se deseja visualizar a UGV com ou sem a construção civil, ou ainda selecionar que partes da construção deseja tornar transparentes. A Figura 5.6 mostra a mesma visualização anterior, porém com a construção civil tornada transparente para permitir a visualização do interior da máquina.

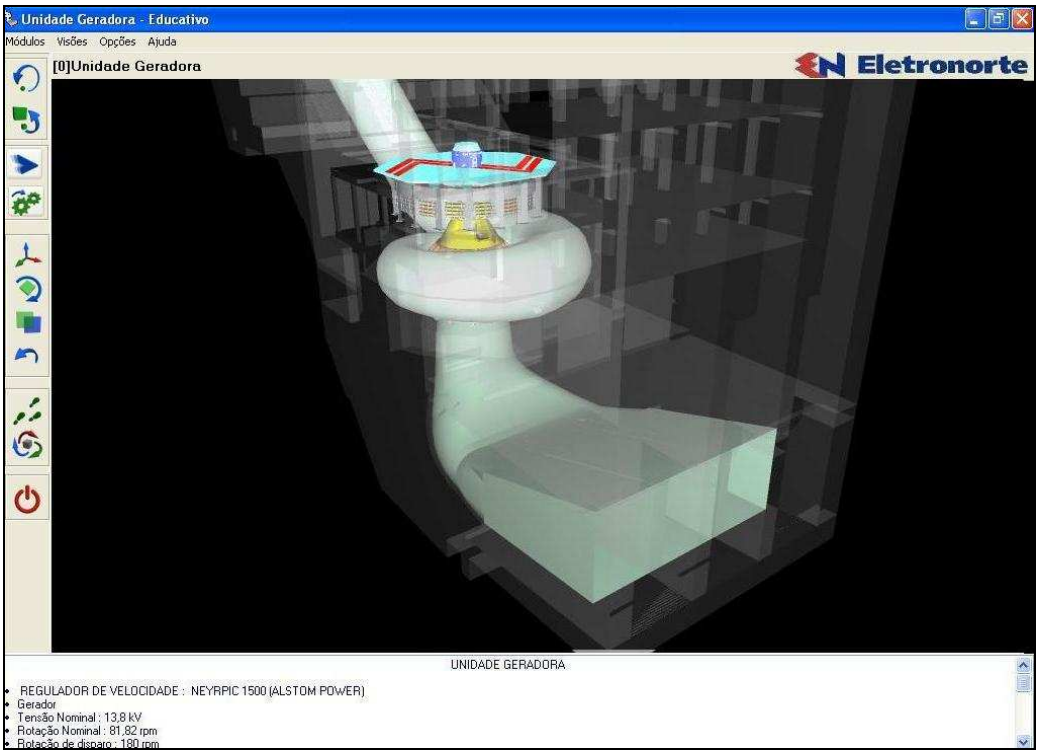

Figura 5.6 – UGV com a construção civil tornada transparente

Para evitar os problemas descritos com relação à visualização e ao acesso a máquina da UGV o módulo educativo, ao iniciar apresenta apenas a UGV sem as camadas de concreto armado, Figura 5.7. O usuário pode a qualquer momento selecionar a exibição da construção civil.

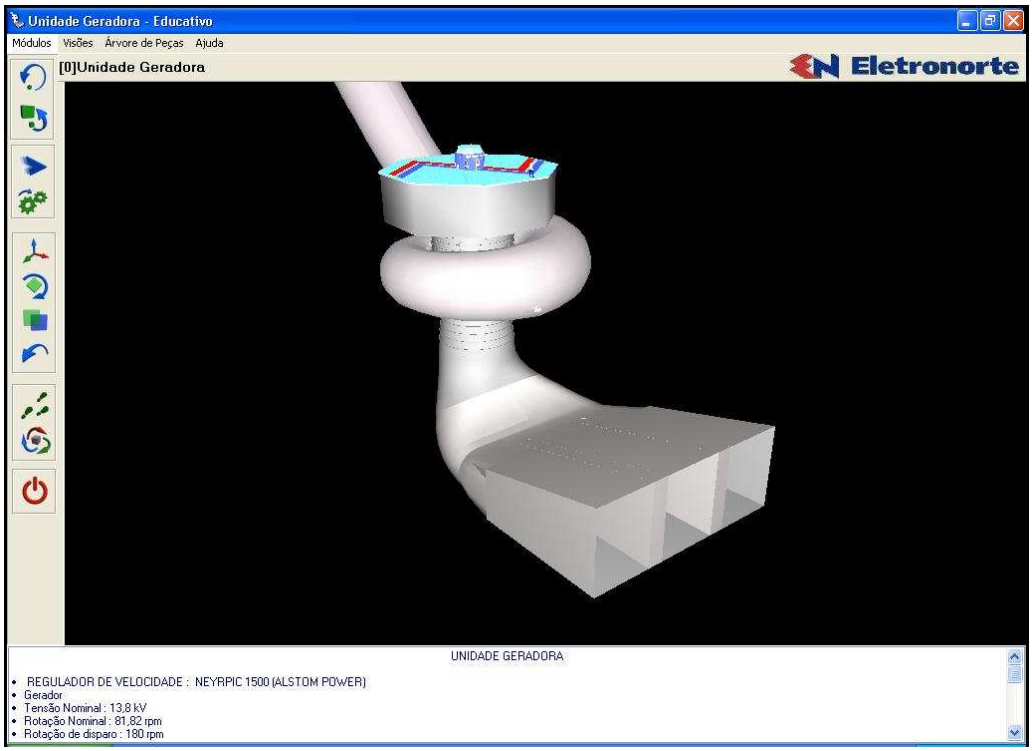

Figura 5.7 – Visão inicial do módulo educativo.

A posição de cada peça da UGV é lida do Documento de Configuração. No momento inicial, em que é carregada toda a UGV o nível na hierarquia de peças é o mais alto. Pode-se notar a alteração dos elementos da interface para representar a mudança no mundo virtual, ou seja, a exibição da UGV. Na barra de títulos, aparece a palavra Educativo ao lado do nome da aplicação. O painel contendo a árvore de peças abaixo do menu exibe: (0) Unidade Geradora indicando que se está no nível mais alto da hierarquia, 0, e que no mundo virtual neste momento está sendo exibida toda a Unidade Geradora. Na área textual, na parte inferior da tela, são exibidos dados técnicos sobre a unidade geradora e seus componentes.

Uma vez selecionado o módulo e carregada a UGV é possível realizar diversas operações exploratórias sobre ela, visando conhecer seu funcionamento e as peças que a compõem.

Para que o usuário “desmonte” as partes da usina, ou seja, percorra a árvore de peças descendo do nível mais alto ao último nível modelado basta que faça *picking* sobre a parte que deseja explorar. Se o usuário desejar conhecer a turbina da usina, basta que clique sobre esta. Todas as demais

partes desaparecerão e apenas a turbina será exibida, como mostra a Figura 5.8.

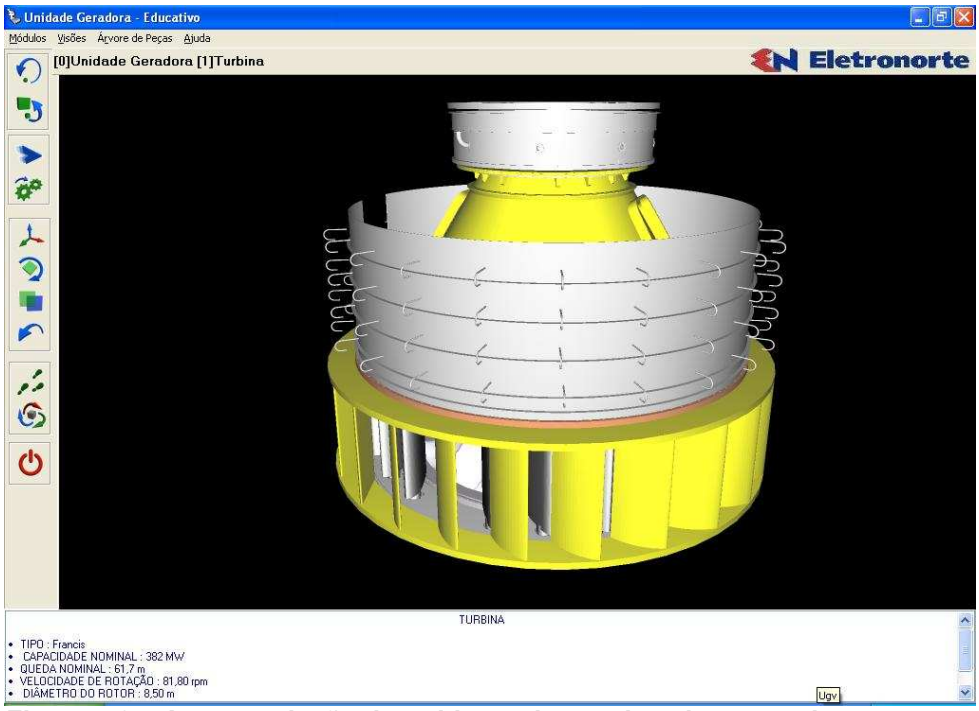

Figura 5.8 – Apos a seleção da turbina todas as demais partes desaparecem

A interface apresenta agora as informações relacionadas com a turbina. Na árvore de peças aparece **(0) Unidade Geradora (1) Turbina**, indicando o caminho na árvore por onde o usuário já passou e o nível em que se encontra neste momento. Na área de texto aparecem os dados técnicos sobre a turbina. A ligação entre os dois níveis da hierarquia é validada pelo sistema consultando os Documentos de Montagem, por meio destes o sistema caminha pela árvore de peças evitando cometer um deslocamento ilegal. Os dados que aparecem na área textual são obtidos dos Documentos de Objetos.

O usuário pode continuar descendo níveis na hierarquia da UGV. Se clicar sobre o Pré-Distribuidor (peça amarela na parte inferior) na Figura 5.8, descerá para um agrupamento de peças que faz parte da turbina chamado Sistema Distribuidor que aparece na Figura 5.9.

Unidade Geradora - Educativo
Módulos Visões Árvore de Peças Ajuda
[0]Unidade Geradora [1]Turbina [2]Sistema do Distribuidor
Eletronorte
SISTEMA DO DISTRIBUIDOR
• O distribuidor é o conjunto mecânico móvel que através da abertura e fechamento de 24 palhetas diretrizes controla a vazão de água que entra na turbina e por sua vez a velocidade da mesma. Os componentes do distribuidor da turbina são: A tampa superior, o sistema de acionamento ou bielismo, as palhetas diretrizes, os servomotores.

Figura 5.9 - Sistema Distribuidor selecionado à partir da turbina

São exibidos ao usuário agora os dados relativos ao Sistema Distribuidor. Este processo interativo de descoberta das partes constituintes de cada parte e assim sucessivamente, pode continuar até que o usuário chegue ao último nível da hierarquia, que varia de acordo com a quantidade de peças que compõem cada parte por ele selecionada. Além desta interação o usuário pode a qualquer momento realizar diversas outras com a parte que está no mundo virtual, como navegar para o seu interior, rotacioná-la, desmontá-la sem seguir a hierarquia, etc. As ferramentas que permitem essas interações serão vistas com detalhes nas seções a seguir.

5.4.2 Visões

As visões são posições de observador predefinidas que permitem visualizar a UGV de pontos estratégicos, seja para a compreensão de seu funcionamento ou por serem locais importantes do ponto de vista de aprendizado. A Figura 5.10 mostra o menu visões.

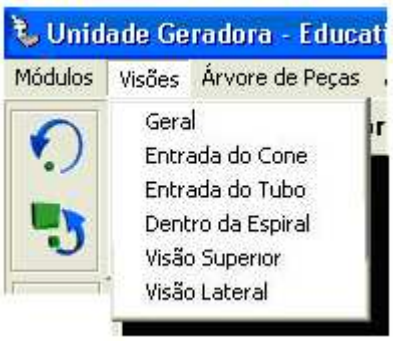

Figura 5.10 – Menu visões

A visão **Geral** é a visão padrão e aparece inicialmente quando o programa é executado, como mostrado na Figura 5.7. A posição inicial do usuário em cada uma das quatro visões seguintes é exibida nas Figuras 5.11a - 5.11d.

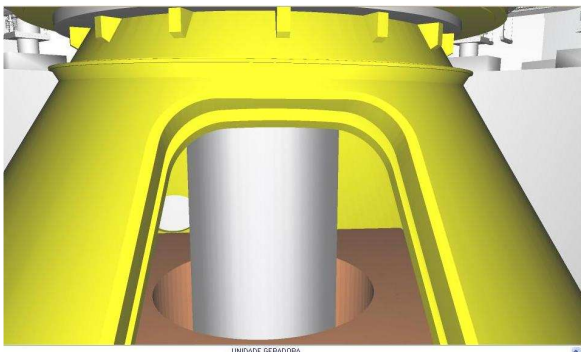

Figura 5.11a Entrada do cone local onde se pode visualizar o funcionamento interno da máquina

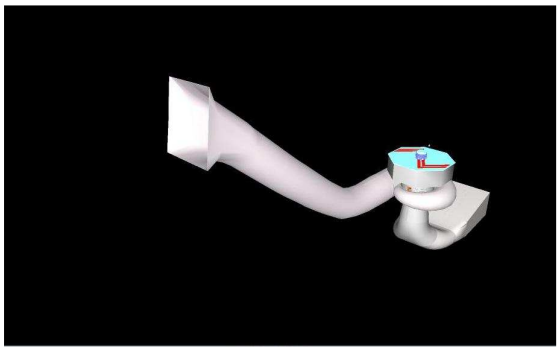

Figura 5.11b Entrada do tubo de onde se tem a altura da UGV e se vê a tomada de água

Figura 5.11c – Porta eclusa da caixa espiral, passagem por onde se entra para realizar diversas manutenções.

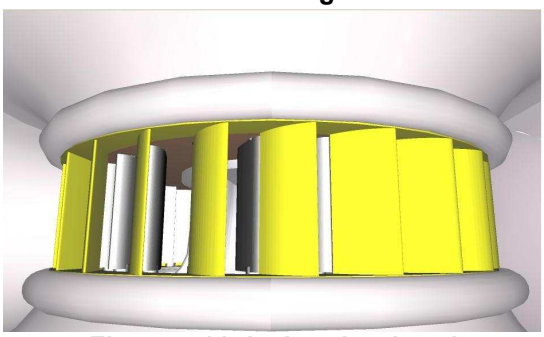

Figura 5.11 d – Interior da caixa espiral de onde se tem uma visão do funcionamento do rotor e do sistema distribuidor.

As duas ultimas visões foram criadas para operarem junto com os botões de animação que serão vistos na seção 5.5.2. Nestas visões o usuário posiciona-se na parte lateral da UGV ou na parte superior para acompanhar a montagem da mesma. As Figuras 5.12a e 5.12b mostram as duas visões operando em conjunto com o botão de animação.

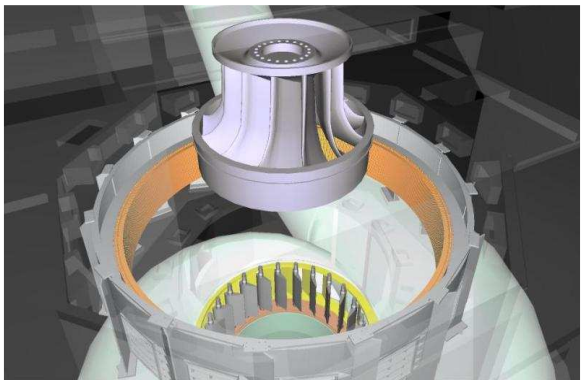

Figura 5.12a – Visão superior enquanto a animação da montagem das peças ocorre

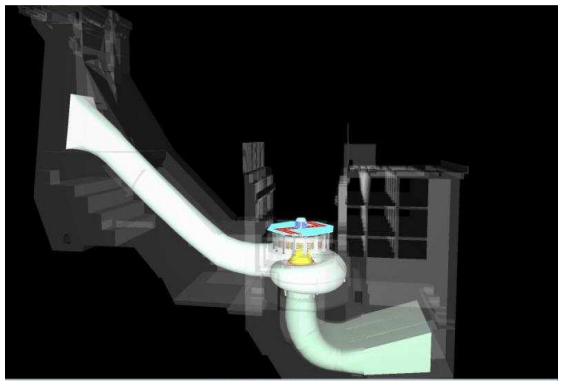

Figura 5.12b – Visão lateral do final do processo de montagem.

As visões são importantes porque o usuário pode deslocar-se para pontos específicos dentro da UGV sem ter que navegar até eles e a partir destes, iniciar sua exploração da planta. Pode ainda intercambiar o uso de visões com outras ferramentas à disposição, como o exemplo da montagem e assim criar situações que enriquecem seu aprendizado.

5.4.3 Árvore de Peças

Além da exibição do nível atual na hierarquia da UGV que aparece no painel da árvore de peças como foi visto anteriormente, também é possível através do menu na opção **Árvore de Peças**, exibir uma janela *pop-up* com a árvore de peças da parte da UGV que está sendo exibida no momento no mundo virtual.

A diferença entre essa janela e o que aparece no painel da parte superior da tela é que enquanto no painel se vê listado o caminho percorrido pelo usuário até o nível corrente, nesta janela é possível ver toda a hierarquia da planta do nível em que se está e abaixo deste. Esta janela exibe a qualquer momento a hierarquia das peças que estão no mundo virtual, ou seja, quando toda a UGV está aparecendo, a janela exibe todas as suas peças hierarquicamente organizadas na forma em que são montadas na UGV. Na Figura 5.13 é possível visualizar a árvore da UGV, ressaltando que para agrupamento de peças formando uma parte da UGV é utilizado um ícone no formato de um cilindro e para as peças constituintes de cada agrupamento é utilizado um ícone na forma de dois pontos.

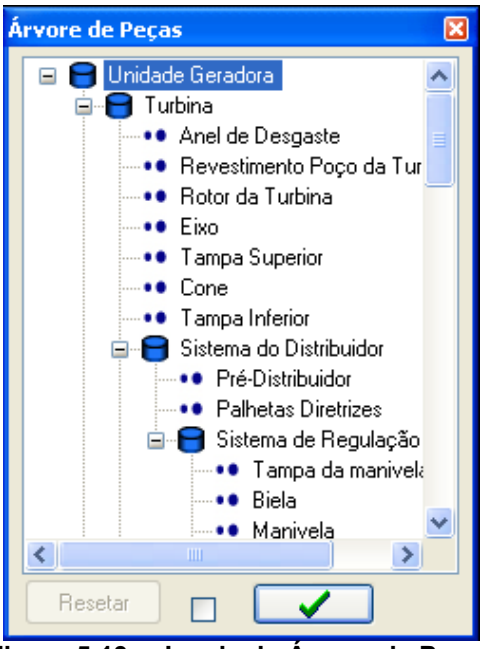

Figura 5.13 – Janela da Árvore de Peças mostrando agrupamentos e peças

À medida que se caminha na árvore descendo níveis, a janela automaticamente atualiza seus dados e apresenta a árvore de peças do nível em que o usuário está situado, eliminando a árvore dos níveis superiores a este. Deste modo, a qualquer momento, o usuário tem acesso as sub-partes que compõem a parte que ele selecionou permitindo que possa se deslocar diretamente a qualquer uma delas.

Além de exibir a árvore de peças corrente, Esta janela também permite realizar uma série de interações com a planta da UGV sem ter que percorrer a hierarquia da árvore. Quando se clica sobre o nome de uma das peças na janela, a peça correspondente no mundo virtual é selecionada, seu nome é exibido no mundo virtual do lado esquerdo e seus dados aparecem na área textual. Um eixo cartesiano tridimensional aparece no mundo virtual permitindo ao usuário manipular a peça selecionada. A Figura 5.14 mostra esse comportamento ao selecionar-se o cone na árvore de peças.

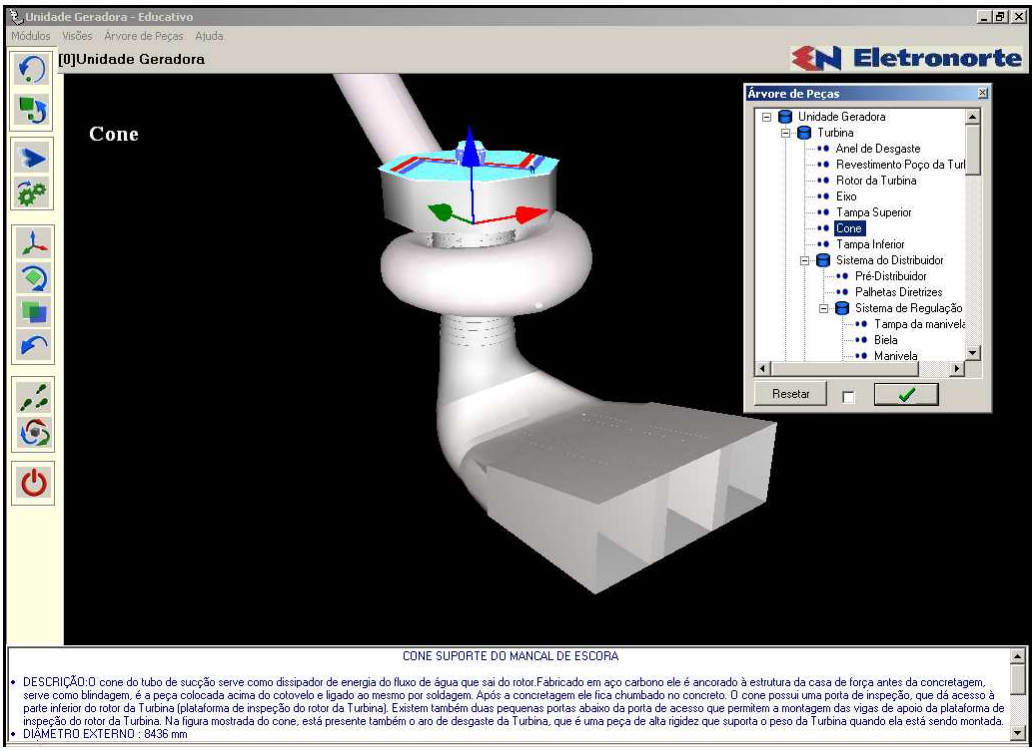
Unidade Geradora - Educativo
Módulos Visões Árvore de Peças Ajuda
[0]Unidade Geradora
Eletronorte
Cone
Árvore de Peças
Unidade Geradora
Turbina
Anel de Desgaste
Revestimento Poço da Turl
Rotor da Turbina
Eixo
Tampa Superior
Cone
Tampa Inferior
Sistema do Distribuidor
Pré-Distribuidor
Palhetas Diretrizes
Sistema de Regulação
Tampa da manivela
Biela
Manivela
Resetar
CONE SUPORTE DO MANCAL DE ESCORA
DESCRIÇÃO:O cone do tubo de sucção serve como dissipador de energia do fluxo de água que sai do rotor.Fabricado em aço carbono ele é ancorado à estrutura da casa de força antes da concretagem, serve como blindagem, é a peça colocada acima do cotovelo e ligado ao mesmo por soldagem. Após a concretagem ele fica chumbado no concreto. O cone possui uma porta de inspeção, que dá acesso à parte inferior do rotor da Turbina (plataforma de inspeção do rotor da Turbina). Existem também duas pequenas portas abaixo da porta de acesso que permitem a montagem das vigas de apoio da plataforma de inspeção do rotor da Turbina. Na figura mostrada do cone, está presente também o aro de desgaste da Turbina, que é uma peça de alta rigidez que suporta o peso da Turbina quando ela está sendo montada.
DIÂMETRO EXTERNO : 8436 mm

Figura 5.14 – Selecionando o Cone na janela a peça fica marcada no mundo virtual, seu nome aparece no canto superior esquerdo da janela e na área textual é mostrada sua descrição.

Se a peça selecionada for manipulada, o botão **Resetar** que aparece na parte inferior da janela retorna a mesma à sua posição original, permitindo que o usuário possa manipular uma peça ou um grupo de peças sob vários ângulos retornando-a posteriormente à sua montagem original.

O ***check box*** que aparece na parte inferior da janela permite que se selecione uma peça ou uma parte da UGV para visualização. Quando a seleção é feita com essa caixa marcada todas as demais peças desaparecem e apenas a parte marcada fica visível. Com isso, qualquer parte da UGV pode ser atingida imediatamente sem ter que percorrer a árvore. A Figura 5.15 mostra o resultado da marcação do *checkbox* e a seleção da Caixa Espiral na janela.

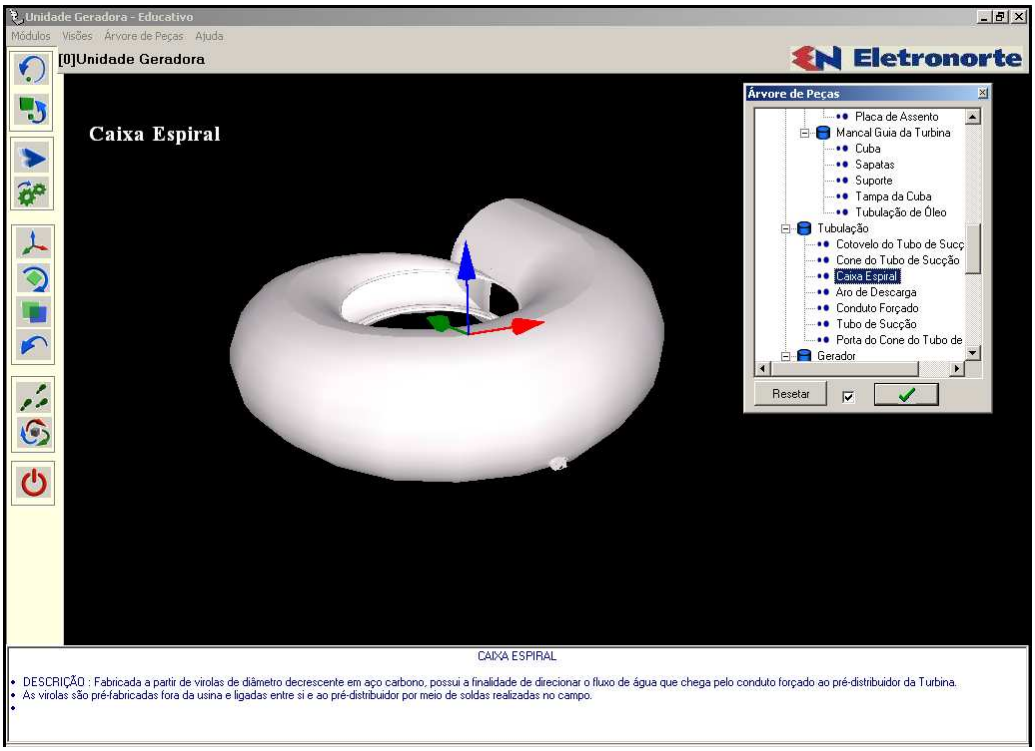
Unidade Geradora - Educativo
Módulos
Visões
Árvore de Peças
Ajuda
[0]Unidade Geradora
Eletronorte
Caixa Espiral
Árvore de Peças
Placa de Assento
Mancal Guia da Turbina
Cuba
Sapatas
Suporte
Tampa da Cuba
Tubulação de Óleo
Tubulação
Cotovelo do Tubo de Sucç
Cone do Tubo de Sucção
Caixa Espiral
Aro de Descarga
Conduto Forçado
Tubo de Sucção
Porta do Cone do Tubo de
Gerador
Resetar
CAIXA ESPIRAL
DESCRIÇÃO : Fabricada a partir de virolas de diâmetro decrescente em aço carbono, possui a finalidade de direcionar o fluxo de água que chega pelo conduto forçado ao pré-distribuidor da Turbina.
As virolas são pré-fabricadas fora da usina e ligadas entre si e ao pré-distribuidor por meio de soldas realizadas no campo.

Figura 5.15 – Com o *checkbox* marcado é selecionada a Caixa Espiral na Janela, no mudo virtual todas as demais peças desaparecem, o nome da peça selecionada aparece no canto superior esquerdo e sua descrição na área textual.

5.5 Botões de Ação

A barra com os botões permite ao usuário selecionar as operações que deseja executar sobre a planta da UGV. Os botões são agrupados de acordo com suas funcionalidades objetivando facilitar seu acesso e simplificar sua identificação. Todos são representados por ícones que invocam seu funcionamento e, caso o usuário tenha alguma duvida sobre sua função, ao pousar o mouse sobre cada um deles é exibida uma pequena descrição de sua função.

5.5.1 Grupo Hierarquia

Os dois primeiros botões, que são destacados na Figura 5.16 controlam o desenho da hierarquia da UGV. O primeiro botão é chamado **Redesenho** e permite que a qualquer momento o usuário possa retornar a situação inicial de montagem da UGV, demonstrada na Figura 5.7. Com isso, o usuário pode livremente explorar as partes da UGV, mover ou rotacionar peças e quando desejar remontá-la novamente.

Figura 5.16 – Grupo Hierarquia

O segundo botão é chamado Subir um nível e serve para que o usuário, após descer níveis na hierarquia de peças possa retornar aos níveis anteriores. As Figuras 5.17a - 5.17c mostram a o uso do botão para retornar ao nível anterior

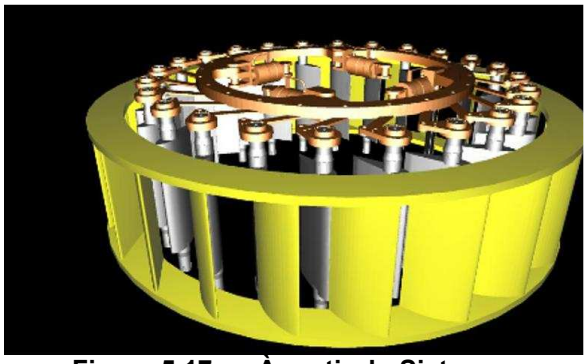

Figura 5.17a – À partir do Sistema Distribuidor o usuário seleciona o Sistema de Regulação (em dourado).

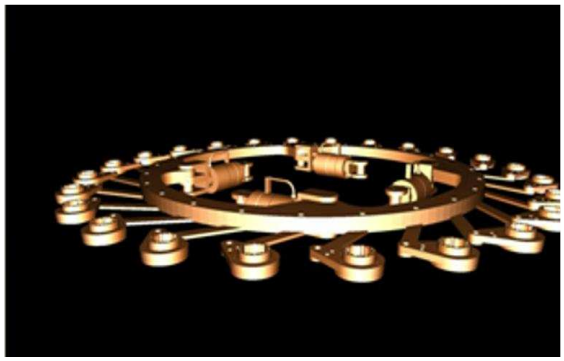

Figura 5.17b – Desce um nível na hierarquia e visualiza o Sistema de Regulação. Para retornar ao nível anterior o usuário seleciona o botão subir um nível

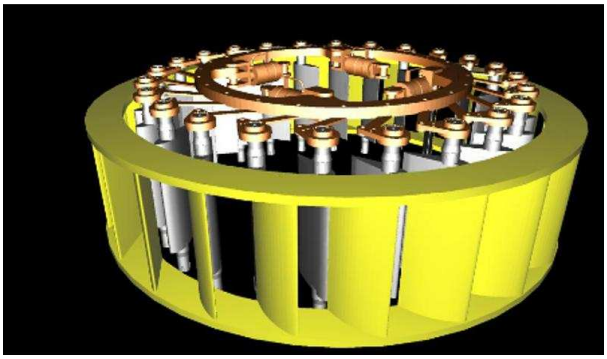

Figura 5.17c – Retornando novamente ao nível em que estava. Pode selecionar novamente o botão para subir para o nível da turbina e assim sucessivamente.

5.5.2 Grupo Animação

O segundo grupo de botões, mostrados na Figura 5.18, controla as animações que são executadas no mundo virtual para que o usuário possa visualizar dinamicamente o comportamento da planta. O primeiro botão serve para iniciar a animação da montagem das peças da UGV, as Figuras 5.12a e 5.12b mostraram o funcionamento deste botão. A finalidade desta ação é permitir ao usuário participar da montagem de uma UHE visualizando todo o

processo da forma e na seqüência em que ocorre na realidade, podendo parar no momento que desejar para visualizar detalhes. As peças são inseridas na seqüência correta com que são montadas e a concretagem das peças também vai se realizando à medida que a montagem ocorre como acontece na realidade.

Figura 5.18 – Botões de Animação

O Segundo botão é chamado de **Partida** e permite ao usuário visualizar o funcionamento dos elementos internos produtores de energia. É possível aqui utilizar a visão Entrada do Cone em conjunto com o botão para visualizar o funcionamento da máquina em uma posição em que realmente essa operação é feita em uma UHE real. Nessa posição, são avaliadas as condições de funcionamento das peças girantes, bem como são realizados diversos procedimentos de manutenção. A Figura 5.19 mostra a visão com a máquina em funcionamento.

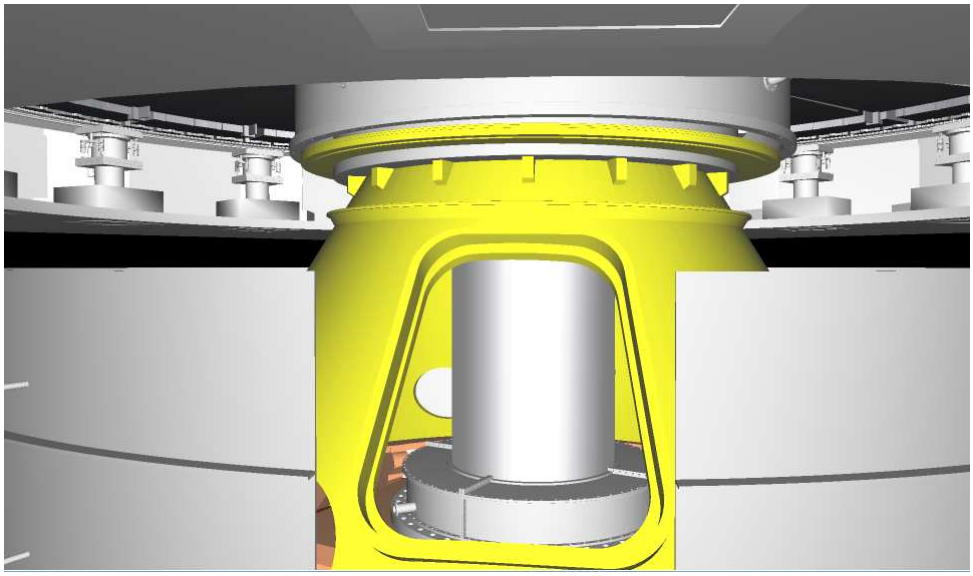

Figura 5.19 – Visão Entrada do Cone com a máquina em funcionamento

5.5.3 Grupo Manipulação

O terceiro grupo de botões, Figura 5.20, disponibiliza ao usuário ferramentas para a manipulação das peças da UGV.

Figura 5.20 – Botões de Manipulação

O Primeiro botão, chamado **Mover** permite que o usuário movimente uma ou mais peças da UGV. Utilizando esse botão o usuário pode, por exemplo, desmontar uma das partes da usina. Quando este botão é acionado um eixo cartesiano tridimensional é exibido permitindo que o usuário desloque as peças clicando sobre as setas do eixo, indicando assim em que eixo deseja realizar o movimento. A Figura 5.21 mostra o resultado da utilização do botão realizando a desmontagem do gerador.

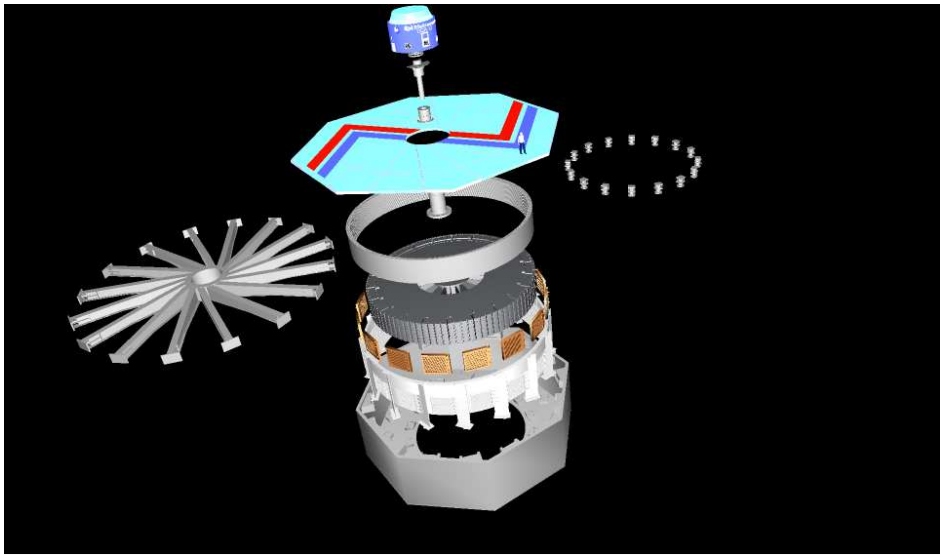

Figura 5.21 – Desmontagem do gerador utilizando o botão mover

O Segundo botão é chamado de **Rotacionar** e permite ao usuário escolher uma ou mais peças da UGV para rotacionar em relação aos eixos. O objetivo deste botão é permitir que o usuário visualize partes ocultas das peças, que não poderia ver no mundo real ou ainda veja partes escondidas da usina como um todo, que no mundo real ficariam em locais inacessíveis. Na Figura 5.22 é exibido o resultado do uso do botão, sobre o rotor da turbina de modo a exibir sua parte inferior. No mundo real essa parte está oculta pela construção civil e preenchida por água quando a UHE está em funcionamento.

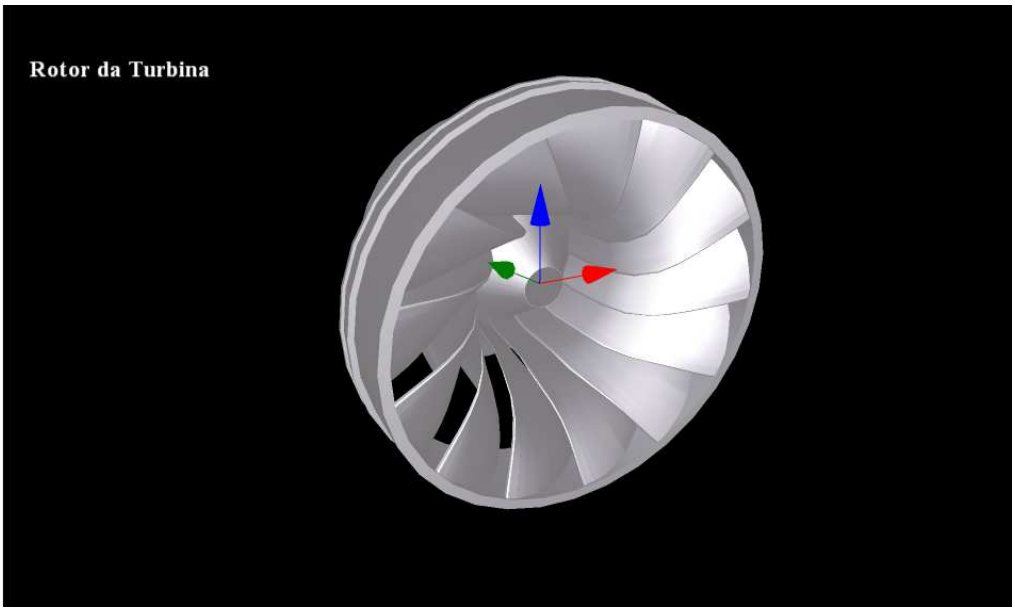

Figura 5.22 – Rotação do rotor da turbina para visualizar sua parte inferior

O terceiro botão controla a **Transparência**. Sendo uma estrutura hierárquica, certamente existirão peças que estão sobre ou em volta de outras, encobrindo-as. Ao clicar no botão, uma pequena barra com um botão deslizante aparece permitindo que o usuário defina o grau de transparência que deseja imprimir a peça selecionada. A Figura 5.23 mostra a aplicação de 80% de transparência à caixa espiral para a visualização da turbina em seu interior.

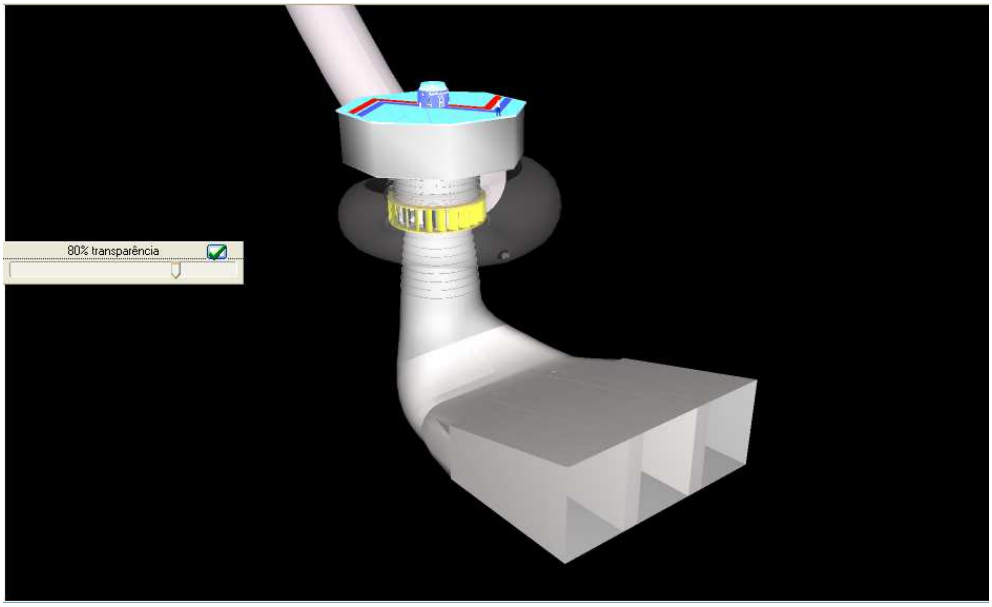

Figura 5.23 – Aplicação de transparência sobre a Caixa Espiral

O último botão deste grupo permite ao usuário **Desfazer** a última ação executada. Por meio deste botão o usuário pode à situação anterior uma peça que tenha sido deslocada, rotacionada ou cuja transparência tenha sido

modificada, garantindo ao usuário liberdade para examinar o que desejar e depois voltar ao seu estado original.

5.5.4 Grupo Movimentação

O último grupo de botões, mostrado na Figura 5.24, permite ao usuário movimentar-se no mundo virtual.

Figura 5.24 – Botões de Movimentação

O primeiro botão é chamado **Navegar** e possibilita que o usuário se desloque pelo mundo virtual. Ao acioná-lo e clicar com o mouse sobre uma parte do mundo virtual o ponto de vista do usuário é deslocado nessa direção. A tecla SHIFT no teclado permite avançar com mais velocidade e a tecla CTRL permite mudar o ângulo de visualização.

O segundo botão permite ao usuário rotacionar todas as peças que estão aparecendo no mundo virtual. Com isso o usuário pode rotacionar toda a UGV ou o subgrupo de peças que lhe interessar. A Figura 5.25 mostra o pré-distribuidor e todas as suas partes rotacionadas para exibir uma visão superior de seus componentes.

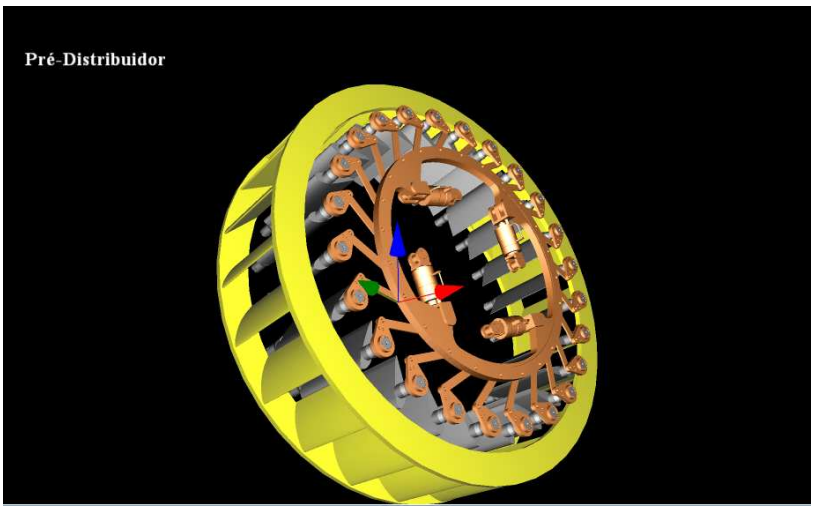

Figura 5.25 – Rotação do Sistema distribuidor e todos os seus componentes

5.6 Considerações

Este capítulo tratou da Unidade Geradora Virtual, o sistema que, apoiado nos conceitos abordados nos capítulos anteriores, permite que se aprenda sobre o funcionamento de uma UHE. Pelas características descritas, o sistema possui uma interface intuitiva e disponibiliza aos usuários diversas funções objetivando que os mesmos possam descobrir pela experimentação o funcionamento das diversas partes constituintes de uma UHE. Por outro lado, o sistema fornece informações de localização na árvore de peças para que o usuário possa se situar, além de fornecer uma descrição técnica detalhada de cada uma das peças da UHE. O usuário pode ainda escolher uma variedade de visões para se posicionar em pontos de interesse para o estudo da UHE ou ainda deslocar-se livremente para o ponto que desejar.

Com todas essas funcionalidades, têm-se uma poderosa ferramenta para o estudo de plantas industriais.

CAPÍTULO 6 – MELHORIAS E TRABALHOS FUTUROS

Por ser um sistema voltado ao estudo virtual de uma unidade hidrelétrica de energia, algumas funcionalidades ainda não implementadas podem ser alvo de futuras melhorias no sistema.

A primeira é a formalização das TAGs XML utilizadas. As TAGs criadas foram sendo geradas à medida que a necessidade de seu uso foi aparecendo. Assim, foram criadas TAGs para representar o nome de uma peça, seu posicionamento em cada eixo e suas demais informações, porém não houve um cuidado fazer uma definição formal dessas TAGs nem de outras que possam vir a ser necessárias. Essa definição é importante no sentido de padronizar a criação de TAGs para o sistema.

Outro ponto ainda a ser desenvolvido é uma ferramenta de autoria que permita ao próprio usuário criar, posicionar e descrever as características de peças de seu interesse no ambiente virtual. Desse modo o usuário poderia acrescentar, remover ou alterar informações relativas às peças. Para desenvolver essa ferramenta, partindo do ponto atual, é necessário simplesmente um mecanismo para alterar ou acrescentar documentos XML ao sistema. A cada documento acrescentado também deve ser acrescido o modelo tridimensional da peça equivalente.

Como nem todos os usuários se familiarizam facilmente com um ambiente virtual, outra melhoria que pode ser acrescida é uma ajuda intuitiva que, no mundo virtual, verifique o comportamento do usuário e sugira a melhor forma de executá-lo. Esse tipo de ajuda utiliza alguns recursos de inteligência artificial para ter sucesso em suas predições.

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação apresentou-se a arquitetura de uma aplicação para aprendizado de uma planta industrial, a estrutura de documentos XML proposta para suportá-la, bem como um estudo de caso implementando o modelo proposto sobre a planta de uma UHE.

Nesta dissertação foi apresentada a arquitetura e implementação de um sistema educacional de realidade virtual desktop para estudo de uma UHE. Foi descrita a estrutura dos documentos XML criados para suportar a arquitetura e a forma como os modelos CAD são utilizados no sistema.

A arquitetura simples,baseada em documentos XML, torna o sistema flexível, permitindo que possa ser adaptado, reutilizado e ainda acrescido de novas funcionalidades de acordo com as necessidades de cada caso, bastando alterar os documentos XML e os modelos a serem carregados.

Pode ainda, sem nenhuma alteração no programa principal, ser empregado em uma grande variedade de situações de aprendizado, cuja estrutura seja semelhante a abordada, ou seja, nas situações em que é interessante o estudo de plantas cuja composição é feita de peças hierarquicamente montadas. Sendo uma proposta econômica e prática para ambientes de treinamento com essas características que são a grande maioria das máquinas existentes.

Quando comparado a outros trabalhos na área, como o de Guo (2003), que apresenta um sistema de visualização de uma UHE, e uma proposta de arquitetura de hardware e software para RV desktop, nota-se que esta dissertação oferece uma série de melhorias principalmente no que tange a implementação de rotinas que no trabalho de Guo são apenas sugeridas. Por outro lado, este sistema implementa muitas das funcionalidades sugeridas pelas referências citadas no Capítulo 2. Principalmente o trabalho de Bluemel (2003), no qual é feita uma proposta de aprendizado pela prática (*learning by doing)*. Neste o usuário tem liberdade de experimentar e interagir com a planta como um todo ou qualquer parte dela enquanto vai recebendo informações sobre aquela parte. Assim, adquire conhecimento pela experimentação prática.

O protótipo do sistema foi implantado na Usina Hidrelétrica de Tucuruí, com o uso do mesmo por parte de seu pessoal técnico o sistema vem sofrendo diversas melhorias e adaptações oriundas das respostas obtidas à partir deste corpo técnico. Assim, o processo de amadurecimento do sistema continua sendo executado em consonânica com seus usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Pamplona. Jr. Alcides, Manoel R., Filho, Marcos A. Souza, Marcelo S. Hounsell, Pebertli N. Barata, Messias A. Nascimento. (2006) "A Virtual Reality System for Hydroelectric Generating Unit Maintenance Training and Understanding" ISCA 19th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering (CAINE-2006). Imperial Palace Hotel, Las Vegas, Nevada, USA. 13 – 15 Nov. (1)

Lopes C. A., Marcus V. A., Paulo R. M., Manoel R. F., Pebertli, N. A., (2006) "Utilizando Técnicas de Realidade Virtual para o Desenvolvimento de Programa Computacional que objetiva a Representação de uma Unidade Hidrogeradora Integrada a um Sistema Elétrico". XVI Congresso Brasileiro da Automática, 03 a 06 de Outubro, Centro de Convenções da Bahia, Bahia, Brasil , p.p. 2748-2753.

Alstom/Eletronorte (2002) "Manual de Operação e Manutenção da Turbina Francis, Ref. TUF-E-TUR-0010

Bastos, T. A., Raposo, A. B., et al. (2004) "ViRAL: Um Framework para o Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual", VII Symposium on Virtual Reality (SVR), pp. 51–62.

Bierbaum, A. (2000) "VR Juggler: A Virtual Platform for Virtual Reality Application Development", Master Thesis, Iowa State University.

Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I.; (1998) "The Unified Modeling Language User Guide". Ed. Addison Wesley.

Boud, A. C., Haniff, D. J., Baber, C., Steiner, S. J. (1999) "Virtual Reality and Augmented Reality as a Training Tool for Assembly Tasks", In: International Conference on Information and Visualization, 1999. vol. 4, pp.32-36.

Burdea G.; Coiffet, P., (2003) "Virtual Reality Technology". Second Edition, John Willey & Sons – IEEE.

Bluemel, E., Hintze A., Schulz T., Schumann M., Stuering S. (2003) "Virtual Environments for the Training of Maintenance and Service Tasks", In: Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, vol.2. The Fairmont

New Orleans, New Orleans, LA. 7-10 Dec. 2003. p.p. 2001-2007. Digital Object Identifier 10.1109/WSC.2003.1261664

Corseuil, T.; Raposo, A. et al. (2003) “Buscando o Uso Operacional de Realidade Virtual em Grandes Modelos de Engenharia”, VI Symposiumon Virtual Reality (SVR), pp. 187–198.

Courseuil, E. T. L., Raposo, A. B. et al. (2004) “ENVIRON – Visualization of CAD Models in a Virtual Reality Environment”, In: Proceedings of the Eurographics Symposium on Virtual Environment, pp. 79-82.

ChangHoon, P, HeeDong, K., Hee-Kap, A., Jinwook, K. (2002) “NAVER : DESIGN AND IMPLEMENTATION OF XML BASED VR FRAMEWORK ON A PC CLUSTER”. In preoceedings of VSMM 2002, Gyeongju, Korea.

Guo, J.; Li, Z.; Chen, Y., et al., (2002) “Virtual environment conception for CBM of hydro-electric generating units”, Power System Tecnology. On Proceedings PowerCon International Conference. Vol.3, p.p. 1957-1961. ISBN: 0-7803-7459-2, INSPEC Accession Number: 7604034, Digital Object Identifier: 10.1109/ICPST.2002.1067875

GLSCENE OPENGL SOLUTION FOR DELPHI (2006) Disponível em :

<http://glscene.sourceforge.net/index.php>. Acesso em: 02 Fev. 2006.

Falcone, A. G. (1985), “Eletromecânica: Máquinas Elétricas Rotativas”, 4ª ed. vol. 2. São Paulo: Edgard Blucher.

Fox, R. W.; McDONALD, A. T. (2001), “Introdução à Mecânica dos Fluídos”, 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC.

Guo, J.; Li, Z.; Chen, Y. (2003) “Visualization of Hydro-electric Generating Unit and its Applications”, Systems, Man and Cybernetics, 2003 IEEE International Conference. 5-8 Oct. 2003 vol. 3 p.p. 2354-2359 ISBN: 0-7803-7952-7/03

JACOBSON, I. et al. (1999) “The unified software development process.” Reading : Addison-Wesley.

JACOBSON, I. (1998) “Objectory is the unified process. Component Strategies**”**, v.1, n. 10, Apr., 1998 p. 67-72.

Jayaram, S.; Wang, Y. and Jayaram, (1999) U. “A virtual assembly design environment”, Proceedings of IEEE Conference on Virtual Reality, pp. 172-179.

Kashiwa, K., Mitani, T., Tezura, T., Yoshikawa H. (1995) “Development of Machine-Maintenance Training System in Virtual Environment”, In: Proceedings of Fourth IEEE International Workshop on Robot and Human Communication RO-MAN'95, Tokyo, Japan, 1995, pp. 295-300.

Li, J. R., Khoo L. P., Tor, S. B. (2003), “Desktop Virtual Reality for Maintenance Training: an Object Oriented Prototype System (V-Realism)”, COMPUTERS IN INDUSTRY 52 (ELSEVIER), p.p. 109-125.

Lin, F., Ye, L., et al. (2002), “Developing virtual environments for industrial training”, Information Sciences—Informatics and Computer Science: An International Journal, Vol.140 No.1, p.153-170.

Pamplona, A.; Ribeiro, M.; Hounsell, M.; Sousa, M.; Nascimento, M. ; Barata, P. Alho ; Bezerra, F. (2006) “Um sistema de Realidade Virtual para Treinamento de Manutenção e Estudo de uma Unidade Hidrelétrica de Energia”. . In: XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC) , Potrero de los Funes, San Luis, 17 -20 Out. (2)

Pressman, R. L.; (1995) “Software Engineering”, Ed. Makron Books.

Sá, A. G., Zachmann, G. (1999) “Virtual Reality as a Tool for Verification of Assembly and Maintenance Process”, Computer & Graphics Journal, vol. 23, num.3.pp.389-403. Ed. Elsevier Science Ltd.

Scheiber, G. P., (1977) “Usinas hidrelétricas” 1ª ed. vol. 1. Rio de Janeiro: Edgard Blücher.

Schenk, M.; Blumel, E.; et al. (2005) “Technology Enhanced Training at Workplace: A Virtual Reality Based Training System for the Technical

Domain. In: 1st International Conference on EBusiness and E-Learning Proceedings, ISBN 9957-8585-0-5, p.p. 57-62.

Suzuki, R. J., Gasparini, I., Hounsell, M. S. (2006) “Inserção de Textos em Ambientes Virtuais”, In: Proceedings VIII Symposium on Virtual Reality (2-5 maio 2006 Belém-Pa-Brasil). ISBN:85-7669-067-5. pp. 409-420.

Tam, E.; Badra, F.; et al. (1999) “A Web-based virtual environment for operator training (for power systems)”. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14 No.3, p.p.802-808.

Van Leeuwen, J. P., Jessurum, A.J. (2001) “XML FOR FLEXIBILITY AND EXTENSIBILITY OF DESIGN INFORMATION MODELS” In: Proceedings of CAADRIA 2001, Sydney, Australia: 19 – 21 April.

Videira, A. (2001) “Dinâmicas de Aprendizagem no Contexto de uma Economia em Estado Intermédio de Desenvolvimento: Casos de Estudo no Sector de Componentes para Automóvel”. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de Tecnologia.

Wang, Q. H., Li, J. R. (2004) “A Desktop VR Prototype for Industrial Training Applications”, Virtual Reality vol. 7, June 2004, No. 3-4. p.p. 187-197. Ed. Springer London. ISSN : 1359-4338.

World Wide Web Consortium (1998) “W3C-XML: Extensible Markup Language (XML) 1.0”,Disponível em: <http://www.w3.org/TR/REC-xml>. Acessed in Feb/2006.

Ye, P; Banerjee, A Banerjee, et al. (1999) “A comparative study of assembly planning in traditional and virtual environments”. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics--Part C: Applications and Reviews, Vol. 29 No. 4, p. 546-555.

Zheng-ping, N., You-liang, Z. Hui-fen, W. (2003) “Establishment of Reconfigurable 3D Virtual Machining Environment”, In: 2nd CENNET Workshop, Shenzhen, PRC, 10-12 October 2003.